Math. A.
165 m

Digitized by Google

Math. A.
165 m

Merz

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.

Digitized by Google

Die

neueren Verbesserungen

am

MICROSCOPE

nebst den sie begleitenden Aenderungen

in der

DIOPTRIK

von

Dr. *Ludwig Merz.*

München 1843.

J. Palm's Hofbuchhandlung.

Digitized by Google

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Digitized by Google

Vorwort.

Als ich vor nicht Langem das Werk von Alexander Fischer „le microscope pancratique, Moscou 1841" durchlas, befremdete es mich, dass die darin enthaltenen Verbesserungen der dioptrischen Theorie in Deutschlaud noch nicht, wie sie es verdienten, beachtet worden sind. Daher entschloss ich mich, dieselben mit einigen Zusätzen in deutscher Bearbeitung zu veröffentlichen, und es kann diese Arbeit um ihres Gegenstandes willen wohl als ein Supplement für die bisherigen Lehrbücher der Physik und Optik angesehen werden. Damit wäre der zweite Theil des im Titel begriffenen Versprechens gelöst. Dem ersten Theil gedachte ich am besten zu genügen, wenn ich ein im optischen In-

Digitized by Google

stitute meines Vaters gefertigtes Microscop, das alle wichtigen Verbesserungen an sich trägt, beschriebe. Es verhält sich meine Arbeit freilich nur wie die Nachlese auf einem Felde, auf welchem schon grosse und emsige Geister die Erndte eingebracht haben, doch mag sie Manchem nützen, und ihn zu neuen Forschungen reizen, was ich vom Herzen wünsche.

Digitized by Google

I. Abschnitt.

Verbesserungen am Microscope.

Die zusammengesetzten Microscope sind am meisten durch Fraunhofer und G. Merz, Amici, Chevalier, Plössl und Schiegg auf ihre jetzige Stufe der Vollkommenheit gekracht worden. Fraunhofer erreichte die stärkern Vergrösserungen mittels schärferer Okulare, welche seine vollkommen achromatischen Objective vertrugen, und er gab den grössern Microscopen einen Apparat zum Messen im absoluten Mass, der aus einer am Objectentisch angebrachten Theilschraube bestand, noch 0,00001 Zoll angab und das Object nach allen Richtungen einzustellen erlaubte; Amici bezweckte die Steigerung der Vergrösserungen durch die Construction der Objective, deren Linsen er von besonders kurzer Brennweite wählte, dann gab er durch rechtwinkliche Zusammensetzung des Rohres mittels eines innen befindlichen Spiegels dem Microscop die bequemere horizontale Stellung und seine Micrometer sind auf Glas radirte Linien, worauf das Object gebracht wird; Chevalier vervielfachte die Bewegungen, und machte durch Umkehrung das Microscop auch für chemische Beobachtungen tauglich, er vermehrte den Hülfsapparat und verstärkte durch Zwischenlinsen die Beleuchtung, verfertigte nach Fischers Angabe das pankratische

Digitized by Google

Microscop, das ein vom ersten Microscop entworfenes Bild in verschiedener Entfernung also auch verschiedener Vergrösserung betrachtet, und gebrauchte mehrere achromatische Objective aufeinander; Merz nahm statt des Spiegels im Amicischen Rohre ein Prisma, und wandte zum Zeichnen den Sömmeringschen Spiegel an; Plössl's und Schiegg's Microscope nach letzterer Construction zeichnen sich durch ihre Leistungen ebenfalls sehr aus. Im vorigen Jahre gab nun Se. Kaiserl. Hoheit der Herr Herzog von Leuchtenberg dem optischen Institut in München, resp. dessen Eigenthümern, Merz und Mahler, den Auftrag, ein möglichst vollkommenes Microscop für ihn zu verfertigen. Wie diesem Auftrag von Hrn. Georg Merz und dessem Sohne Sigmund Merz, entsprochen wurde, mag folgende Beschreibung des vollendeten Microscops zeigen, welchem wir einiges über seinen Gebrauch beifügen werden.

Das neue Microscop vereinigt in sich die wesentlichsten Vortheile aller bisherigen, sowie auch noch nie angewendete Vorrichtungen. Es ist nämlich an ein und demselben Microscop die durch ein Prisma rechtwinklich gebrochene Röhre mit mehrfachen achromatischen Objectiven, der zum Messen mit einer Schraube versehene Objectentisch, und die Vorrichtung zur Concentrirung des Lichtes angebracht, und zwar jedes mit von dem andern unabhängiger Bewegung, was viel zum bequemen Gebrauch beiträgt. An einem stählernen parallelepipedischen Stabe, welcher in das mittels der in drei Armen befindlichen Schrauben zum Horizontalstellen eingerichtete Fussgestell eingelassen ist, befindet sich der Tubus des Microscopes durch eine Hülse, in welche Mahler's Kugelschraube eingreift, micro-

Digitized by Google

metrisch verstellbar; die feine Micrometerbewegung geschieht also durch diese Schraube, und betrifft lediglich den Tubus mit seinem optischen Apparat. Weiters befindet sich am stählernen Stab parallel damit eine Platte, an welcher der Objectentisch senkrecht darauf, also in horizontaler Stellung, angebracht ist, und sich mit seiner Unterlage längs der Platte hin durch eine grosse Micrometerschraube verschieben lässt. Die Platte selbst aber, sammt dem Objectentisch, lässt sich am stählernen Stab höher oder niedriger stellen durch eine gezähnte Schraube, welche in den Stab, rückwärts wo er gekerbt ist, eingreift. Vor diesem Stab, unmittelbar mit dem Fussgestell durch seine nicht sichtbare Schraube verbunden, steht der Beleuchtungsapparat, aus einem Reflexionsprisma und zwei ineinander verschiebbaren Röhren, welche zu oberst zwei Collectivlinsen tragen, bestehend.

Der Tubus nun trägt an seinem untern Ende die Objective, deren sechs von verschiedener Brennweite vorhanden sind, um alle Combinationen bis zu 5 Elementen gebrauchen zu können, denn zu sechs combinirt erhält man eine zu kurze Brennweite. Je kleiner die Oeffnung ist, desto schärfer ist das Objectiv, und das schärfste soll immer zu unterst angeschraubt werden. Welche Vortheile für Vergrösserung, Schärfe und Deutlichkeit des Bildes aus der Combination mehrerer achromatischer Linsen hervorgehen, ist ohnehin klar und bekannt, denn bei einem einzigen Objectiv von kurzer Brennweite müssen die Krümmungshalbmesser immer so kurz genommen werden, dass viele Kugelabweichung entsteht, während mit combinirten Linsen von geringerer Krümmung, die zusammen die-

Digitized by Google

selbe Brennweite geben, das ganze Gesichtsfeld sehr deutlich erscheint. Dass aber auch die Construction der fraglichen Objective eine höchst vollendete genannt zu werden verdiene, beweist die bedeutende Lichtstärke und Schärfe der Bilder, die sich bei Betrachtung der Prüfungsobjecte ergiebt, so dass z. B. die Querstreifen an den Stäubchen mancher Schmetterlinge bei mittlerer und scharfer Vergrösserung sehr bestimmt gesehen werden. Das deutliche Sehen hängt ausser von den Objectiven auch von der vortheilhaften Anordnung der Oculare ab, deren 5 von verschiedener Schärfe, und zwar eines mit Kreuzfaden, das andere mit radirtem Kreuz zum Einstellen beim Messen, zwei zu starken Vergrösserungen, und ein fünftes mit dem Zeichnungsprisma beigegeben sind. Man erhält durch selbe, je nach der geringern Vergrösserung ein möglichst grosses Gesichtsfeld, und die von ihnen verursachte Abweichung ist gleich Null zu schätzen. Die Vergrösserungen können übrigens nicht nur durch schärfere Oculare gesteigert werden, sondern auch sogar, wie Hr. G. Merz fand, durch ein vor denselben angebrachtes achromatisches Hohlglas, welches die Vereinigungsweite der Strahlen weiter hinausschiebt, daher die Divergenz der Strahlen nach dem vom Collectiv entworfenen Bilde, und also auch die Vergrösserung des Gesichtswinkels befördert. Dieses leistet somit ähnlichen Dienst, wie die Verlängerung des Rohres, und lässt dabei den Gegenstand weiter vom Objectiv entfernen. Auf der Verlängerung aber, insofern sie durch Verschiebung des Ocularrohrs im Tubus des Microscops in verschiedenen Graden erreicht wird, fusst das sogenannte pankratische Microscop, und das Kitschiner-

Digitized by Google

sche pankratische Ocular ist eben auch nur ein solches. Fischer jedoch hat demselben grössere Brauchbarkeit verschafft, indem er das durchs Objectiv entworfene Bild durch ein zweites zusammengesetztes Microscop, das im Tubus des ganzen verschiebbar ist, in verschiedenen Entfernungen betrachten lässt. Es ist indess vorvortheilhaft, statt des Objectivs vom inneren Microscop ein achromatisches Hohlglas zu gebrauchen, denn dadurch wird das ganze Microscop kürzer ausfallen. Bei dem pankratischen Microscop mit erhabnem zweiten Objectivsystem tritt nämlich, sobald dieses über den Ort des ersten Bildes hinabrückt, Verkleinerung ein, und es muss also das Microscop, soll es die verlangten Vergrösserungen geben, jedenfalls um ein Gutes länger werden, als die Entfernung des ersten Bildes vom ersten Objectiv beträgt. Mit dem erwähnten Hohlglas erhält man aber gerade dadurch, dass es zwischen Objectiv und Bild zu stehen kömmt, stärkere Vergrösserung, je weiter es innerhalb dieser Gränze vom Objectiv absteht, und für diese stärkeren Vergrösserungen sogar mehr Deutlichkeit als für die geringeren. Innerhalb der besagten Gränze ist ein Collectiv dazu unentbehrlich, darüber hinaus aber niemals zu gebrauchen. Man kann auch das Oculärstück verschiebbar einrichten, und so hat das Hohlglas wesentlichen Vorzug vor dem erhabnen, nur giebt es das Bild in verkehrter, nicht wie dieses in natürlicher Stellung. Zu scharf darf das Hohlglas nicht gewählt seyn, um nicht zu viel Licht zu verlieren. Um den Ort des durchs Ocular zu betrachtenden, vergrösserten Bildes zu finden, wird folgende Andeutung genügen: Man multiplizire die Vergrösserungszahl durch das Produkt der aufeinander

Digitized by Google

folgenden Verhältnisszahlen der entstehenden Bilder bezüglich der Brennweite des Objectivs, addire noch letztere, sowie die Abstände jener Bilder von ihren entsprechenden Linsen sammt dem treffenden Zeichen, dann hat man das Gesuchte, und kann im Gegentheil, wenn dieses Element bekannt ist, eines der andern ableiten.

Um auch die für den Beobachter beschwerliche, und das Neigen des Kopfes erfordernde, vertikale Stellung des Tubus zu vermeiden, ist etwas über dessen Mitte ein vollkommen rechtwinkliches Glasprisma von der besten Beschaffenheit angebracht, in dessen vordere Kathetenfläche die von den Objectiven kommenden Strahlen eintreten, worauf sie an der Hypothenusfläche die totale Reflexion erleiden, und an der zweiten Kathetenfläche in früherer Neigung austreten. Ein solches Reflexionsprisma ist einem unter 45° geneigten Spiegel vorzuziehen, weil es die vollständige Reflexion hat, während der Spiegel ziemlich viel Licht zerstreut und absorbirt. Man kann aber nach Hinwegnahme des prismatischen Stückes den Tubus auch in vertikaler Richtung blos mit einem oder mit beiden Stücken, also kürzer oder länger, was eine geringere oder stärkere Vergrösserung mit sich bringt, gebrauchen. Die Lichtstärke mit und ohne Prisma verhält sich dann wie 21 : 22; durchs Prisma verliert man also nur $\frac{1}{22}$ am Licht. Zum Zeichnen der microscopischen Gegenstände besonders, wenn solche sich in Flüssigkeiten, die man nicht mit dem ganzen Microscop neigen darf, befinden, ist die durchs Reflexionsprisma erzweckte Horizontallage sehr vortheilhaft, man mag nun die Amicische Camera lucida, oder den Sömmeringschen Spiegel oder das neu construirte, an den Kathetenflächen nur $\frac{1}{2}$ □Linien grosse,

Digitized by Google

Reflexionsprisma am Ocular gebrauchen. Letzteres ist schmäler noch als die Pupille des Auges, auf dass man, wenn die eine Kathetenfläche gegen das Ocular gewendet ist, durch die andere das microscopische Bild unter sich, und überdiess die Hand mit dem Bleistift sieht. Es dient dasselbe auch, die Vergrösserung zu messen mittelst eines in bestimmte gleiche Theile auf Glas radirten Gitters, das man zum deutlichen Sehen vor die Objective setzt. Ist zum Beispiel das Gitter, wie das beigegebene, per Linie in zweihundert Theile getheilt, und man fasst auf dem Zeichnungsbilde zwischen die zwei Spitzen eines feinen Zirkels zwei solcher Theile, und findet dann auf einem Maafsstab, dass ihre Weite 3 Linien beträgt, so ist die Vergrösserung eine 300malige lineare. Nur muss die Messung am Zeichnungsbilde im Abstand der natürlichen Sehweite geschehen. Weiss man die Vergrösserung, so kann die Grösse eines microscopischen Gegenstandes angegeben werden nach der Zahl der Theile, die er auf dem radirten Gitter bedeckt. Doch ist diese Messungsweite vermöge der verschiedenen Sehweiten der Augen, und weil die Begränzung der Gegenstände meist zwischen die Theilstriche fällt, also ihre Lage nur geschätzt werden kann, noch manchen Fehlern unterworfen. Es ist aber oft sehr nützlich, den Durchmesser eines microscopischen Gegenstandes genau zu wissen, und darum muss eine Vorrichtung, die ihn unabhängig von den Brennweiten der Linsen und den Sehweiten der Augen angiebt, willkommen seyn. Um die Durchmesser der Gegenstände in absolutem Maass zu messen, bedient man sich der Micrometer-Oculare, von denen das mit dem radirten Kreuz für die feineren Gegenstände gehört. Die hintere

Digitized by Google

Linse derselben muss so weit aus- oder eingeschoben werden, dass das Kreuz zugleich mit dem Gegenstand deutlich gesehen wird. Die zwei Punkte, deren Entfernung man zu messen wünscht, sollen vorerst so viel möglich horizontal und mit der Hinterplatte am Objectentisch parallel liegen. Da diess mit freier Hand nicht gar leicht geschehen kann, so ist auf andre Weise Vorsorge getroffen. Man schraubt ein aus 2 durchlöcherten und durch eine Feder in gegenseitiger Neigung erhaltenen Scheiben bestehendes Metallstück in die Oeffnung des Objectentisches, so dass das daran befindliche Stellschräubchen gegen die rechte Seite des Beobachters sieht. In die Oeffnung des Stückes kann nun alles geschraubt werden, was sonst in die Oeffnung des Objectentisches gesetzt wird, die Klemme für die Objectenschieber, der Arm mit dem Zängelchen, dessen anderes Ende eine Nadelspitze bildet und das Compressorium nach Purkinje. Ist der Gegenstand vorläufig horizontal gerichtet, so wird der obere Theil des Tischchens durch seine vordere Stellschraube von oder gegen den stählernen Stab gerückt, damit der Gegenstand nach dieser Richtung in die Mitte des Gesichtsfeldes kömmt. Sieht man dann, dass die Gränzpunkte, deren Entfernung zu messen ist, nicht in einer Linie, parallel mit dem Schuber oder mit dem Micrometerfaden des Oculars, liegen, so kann diess dadurch geändert werden, dass man die zwei langen Schrauben des Objectentisches mittels ihrer Schlüssel die eine auf- die andere zuschraubt, wodurch sich das Tischchen um seine Axe dreht, den Gegenstand also in eine mit dem Schuber parallele Richtung bringen lässt. Wenn einer der zwei Punkte des Gegenstandes höher oder tiefer liegt als der andere,

Digitized by Google

so würde dieses dazu führen, dass wenn man den einen deutlich sieht, der andere undeutlich erscheint, folglich die Entfernung nicht genau gemessen werden könnte. Giebt man aber der obern Scheibe des beschriebenen eingesetzten Metallstückes durch Anziehen seines Schräubchens eine andere Neigung, so kann der Gegenstand vollkommen horizontal gestellt werden. Hat man nun die gehörige Lage hergestellt, so schraubt man mit der in ein Kugelgewinde eingreifenden Micrometer-Schraube an ihrer Trommel den Schuber und damit den Gegenstand so weit nach links, dass sein rechts liegendes Ende beim Durchsehen noch etwas über den Kreuzfaden hinaus ist; alsdann wird noch langsam zurückgeschraubt, bis das Ende des Gegenstandes sich genau an den Micrometerfaden lehnt. An dem obern Balken des Schuberwerks oder auf dessen Leiste ist eine mit den Umgängen der Schraube correspondirende Theilung sammt Index angebracht, auf welcher mit der Lupe die Einstellung abgelesen wird; da aber der Schraubenkopf oder die Trommel an ihrer Peripherie in 100 Theile, und durch das Vernier jeder dieser Theile wieder in 10 Theile getheilt wird, so kann man tausend Theilchen eines Schraubenumgangs ablesen. Z. B. der Index auf dem Schuber zeige 27, auf dem Schraubenkopf treffe der Nullpunkt des Verniers nach dem 84sten Theil, und der 6te Theil des Verniers coincidire mit einem Theile des Schraubenkopfes, so steht das Ende des Gegenstandes am Theil 27,846 der Schraube. Geht man im Schrauben nach links fort, bis das andere Ende des Gegenstandes sich genau an den Faden lehnt, und bemerkt wieder den Stand der Schraube; und sei dieser 33,928, so ist der Durchmesser des Gegenstandes, indem

Digitized by Google

man den vorigen Stand der Schraube von diesem abzieht, = 6,082 Schraubenumgänge. Ein Schraubenumgang ist aber beim fraglichen Instrument = 0,01266 par. Zoll gemessen worden, und man kann daher bis $\frac{1}{100000}$ Theil eines Zolles messen; der Gegenstand unsers Beispiels ist also 0,07699812 Zoll gross.

Nachdem der erste Stand der Schraube abgelesen ist, darf natürlich an der Verticalstellung des Microscops nichts mehr verändert werden, weil sonst die Axe desselben leicht gegen den Gegenstand eine andere Lage bekommen könnte und dann falsch gemessen würde. Während des Messens darf überhaupt nur die Schraube mit ihrer Trommel berührt werden. Um den todten Gang der Schraube auf die Bestimmung der Grösse des Gegenstandes unschädlich zu machen, ist es nothwendig, während der Messung jedesmal nur nach ein und derselben Richtung, und bis der Gegenstand gemessen ist, nie umgekehrt zu schrauben, daher man nahe am Faden immer langsam vorgehen muss, um nicht darüber hinauszukommen. Die Multiplicationsmethode lässt sich auch hier anwenden, indem man das arithmetische Mittel mehrerer Messungen nimmt. Es ist gut, wenn ein Faden des Micrometers mit der Bewegung des Gegenstandes oder mit dem Schuber parallel geht, weil diess einen Anhaltspunkt zur Beurtheilung der guten Lage des Gegenstandes gewährt. Diese Lage kann der Faden durch die beiden untern am Ocular theil angebrachten Schrauben erhalten, die auf die dritte, in den Tubus senkrecht eingreifende und sonst zur Befestigung dienende, von entgegengesetzten Seiten drücken. Der Durchgang eines geraden Gegenstandes zeigt, ob der Faden diese Lage hat. Die beiden Micrometeroculare sind übrigens

Digitized by Google

nur für den senkrechten Tubus zu gebrauchen. Um beim Messen Verwirrungen zu vermeiden, ist es nöthig, dass während der Index einen der Theilstriche vollkommen deckt, die Theilung an der Trommel auf Null zeigt. Dazu lässt sich der Ring von dieser, unabhängig von der ganzen Schraube, um seine Axe drehen; man muss sich jedoch in Acht nehmen, dass diess nicht während des Messens geschieht. Für jene, welche sich zum Messen lieber des Ocularmicrometers bedienen, wird auch ein solches beigegeben. Es ist klar, dass die Bewegungen des Tischchens, auch wenn keine Gegenstände gemessen werden, von grossem Nutzen sind, weil man ohne Mühe jeden Theil des Gegenstandes in die Mitte des Gesichtsfeldes zum deutlichen Sehen verrücken kann. Besonders vortheilhaft ist die geneigte Ebene, um die überflüssigen Flüssigkeiten ablaufen zu machen, am meisten aber um die Lagen der Krystalle nur leise zu ändern, und diese also bequem in den verschiedensten Richtungen und Reflexen betrachten zu können.

Ein Haupterforderniss eines guten Microscopes ist, dass man das Object unter den verschiedensten Graden der Beleuchtung sehen könne. Das betreffende Microscop ist zu dem Ende mit einem Reflexionsprisma versehen, das mit seinem Gestell in den Fuss des Microscops eingeschraubt ist, und durch den Griff in den passenden Einfallswinkel gestellt wird. Ober des Prismas befindet sich ein Rohr, in welchem ein anderes mit zwei Collectivlinsen, die um das Doppelte der Brennweite der kleineren von einander entfernt sind, von und zum Objectiv durch Verschieben, und für feinere Unterschiede durch ein Gewinde, verstellbar ist.

Digitized by Google

Die Linsen concentriren also die vom Prisma parallel kommenden Strahlen, damit nicht solche neben das Object fallen, und da man ihren Vereinigungspunkt durch die Verschiebung des Rohres höher oder niedriger bringen kann, so trifft den Objectentisch nach Belieben ein bald grösserer, bald kleinerer Durchschnitt des Lichtkegels. Das Object empfängt auf solche Weise nach Belieben mehr oder weniger Licht, das heisst die Beleuchtung kann nach Bedürfniss modificirt werden, was sehr wichtig, und durch die sonst gebrauchten Blendungen nicht in allen Graden zu erreichen ist. Beobachtet man mit künstlichem Licht, so lässt sich dieses noch durch eine Sammellinse, die auf eignem Fuss steht, und beliebig bewegt werden kann, verstärken, so dass man eine durchaus befriedigende Helligkeit erhält. Man thut wohl, zuerst auf sehr grelle Beleuchtung einzustellen, und diese allmählig durch Hinabrücken der Ocularröhre bis zum passendsten Grade zu mildern. Sollte man es aber tauglich finden, bei natürlichem Lichte mit einem Hohlspiegel die Beleuchtung zu geben, so ist der Prismaapparat mit einem solchen beigegebenen zu ersetzen, welcher in Zugröhren verstellbar, ebenfalls von und zum Objectiv bewegt werden kann, und durch welchen, weil in den Armen, die ihn halten, so wie um die Axe seiner Zugröhre beweglich, das Licht je nach den verschiedenen Einfallswinkeln vom concentrirtesten Zustande im Brennpunkt bis zum dunklen Hintergrund, der bisweilen bei undurchsichtigen Gegenständen erwünscht ist, modificirt werden kann. Für undurchsichtige Gegenstände ist eine Sammellinse am Objectentisch, auf einem Stäbchen angebracht, das sich an einem Arm vom und zum Ob-

Digitized by Google

jectentisch in horizontaler und verticaler Richtung bewegen lässt, so wie der Linse selbst durch die Gelenke, in denen sie sich befindet, die gehörige Richtung gegeben werden kann, um das Licht von oben auf den Gegenstand zu bringen. Um aber für opake Gegenstände auch noch das vom untern Beleuchtungsapparat kommende Licht benützen zu können, schraubt man den sogenannten, in der Mitte mit einer Oeffnung versehenen, Lieberkühn'schen Hohlspiegel an die Objective an, welcher das von Unten kommende Licht wieder nach Unten wirft und auf den Gegenstand concentrirt. Es bleibt nun noch eine Vorrichtung zum Beobachten chemischer Actionen zu erwähnen. Chevalier hat diess durch Umkehrung des gebrochenen Microscopes zu erzwecken gesucht, so dass man durch den Boden des Gefässes auf die darin enthaltene Flüssigkeit zu sehen hat. Diess ist nun theils unbequem, theils kann das Beschlagen mit Dämpfen, das sonst den Objectiven wiederfuhr, auf diese Art den Beleuchtungsapparat treffen. Darum befindet sich beim hier geschilderten Microscop noch ein kleines Reflexionsprisma, das an die Objective geschraubt wird und dessen eine circa 16 □Linien grosse Kathetenfläche nach der Seite gekehrt durch ein auf dem Objectentisch befindliches, mit einem guten Planglas zum Durchsehen versehenes, Gefäss seitlich, wie es der Chemiker gewohnt ist, die Flüssigkeiten betrachten lässt. Die feine Einstellung geschieht mit der grossen Micrometerschraube. Hat man dünne Schichten, so thut man am besten, sie wie andere Objecte auf einem Glas auf den Tisch zu bringen, und ein dünnes Planglas darüber zu halten; wenn aber dieses beschlagen ist, es mit einem andern zu ersetzen und so wechselweise.

Digitized by Google

Als Vorsichtsmassregeln beim Gebrauch dieses Microscopes gelten folgende: Man halte die Gläser immer rein und kehre sie öfters mit dem Haarpinsel ab. Gewöhnlich wendet man die schwächern Vergrösserungen vor den stärkeren an, weil durch Fortschreiten die Beobachtung sicherer wird. Bei den schwächsten Vergrösserungen muss der Linsentheil des Beleuchtungsapparates hinweggenommen werden, um den Objectentisch tief genug stellen zu können; bei den stärksten Vergrösserungen aber muss man sehr behutsam schrauben, damit nicht das vorderste Objectiv auf den Gegenstand aufstösst. Beim Messen mit der Schraube muss man Acht haben, dass die Beleuchtungsröhre nicht an den Tisch stosse, und dadurch verbogen werde, denn Beleuchtungslinsen und Objective sollen zu ein und derselben Axe centrisch seyn. Ist diess nicht der Fall, so erkennt man es, wenn man das Object wegnimmt, und nun den Beleuchtungsapparat so stellt, dass man das von ihm erzeugte Bild der entfernten Gegenstände durchs Microscop sieht, wobei dann der Umfang des Feldes gleichmässig geblendet erscheinen soll. Durch die verschiedenen Bewegungen des Beleuchtungsapparates lernt man die Gegenstände genauer kennen, und je durchsichtiger ein Körper ist, desto weniger Licht braucht er. Braucht man künstliches Licht, so soll dessen Entfernung vom Spiegel der des Spiegels vom Object nahe gleich seyn. Um falsches Licht abzuhalten, ist am Ocularrohre ein verschiebbarer Schirm angebracht.

Digitized by Google

II. Abschnitt.

Einige Veränderungen dioptrischer Regeln.

1. Der einfachste Fall der Dioptrik, da wo die Untersuchung auf gekrümmte Flächen beginnt, ist der einer convexen Linse, welche die nahen Gegenstände vergrössert, also die Dienste eines Mikroskopes leistet. Diesen wollen wir für unsern Zweck näher betrachten, zuvor aber die allerersten dioptrischen Thatsachen vorausschicken, damit die folgende Erklärung auch dem mit dem Gegenstande minder vertrauten Leser hinlänglich deutlich werde.

Kömmt irgend ein Lichtstrahl von einem durchsichtigen Mittel zu einem andern, das in der Dichtigkeit vom erstern verschieden ist, so erleidet seine Richtung stets eine Aenderung, *) ausgenommen dann, wenn er auf das zweite Mittel senkrecht auffiel, denn in diesem Fall vermag dieses Mittel auf keine Seite des Strahles stärker zu wirken, als auf eine andere. — Im Gegentheil, wenn ein Strahl schief auffällt, so gelangt seine untere Seite früher zum wirkenden Mittel, wird darum eher dessen Einfluss verfallen, als die obere, und so muss jedenfalls seine Richtung eine Aenderung erleiden, aber nur in der Ebne, welche senkrecht durch seine ganze

*) Bei dichteren Mitteln wahrscheinlich durch Verzögerung des Weges.

Digitized by Google

Länge auf die Oberfläche des wirkenden Mittels gezogen werden kann, wie solches aus rein geometrischen Begriffen folgt. — Dadurch nun, dass der Strahl im zweiten Mittel eine andere Richtung erhält, oder von seinem ursprünglichen Wege abgelenkt wird, verfolgt er nicht mehr dieselbe gerade Linie, sondern diese wird gebrochen, und die beiderseitigen Richtungslinien bilden dann rückwärts einen bestimmten Winkel. Je schiefer der Strahl auffällt, desto stärker wird die Brechung, desto kleiner der ebenbesagte Winkel. — Zieht man auf die Oberfläche des brechenden Mittels zum Einfallspunkt des Strahles eine Senkrechte, so wird man finden, dass, wenn das zweite Mittel dichter ist, als das erste, der Strahl zur Senkrechten hin, im Gegentheil von ihr weggebrochen wird. — Sind die Winkel, unter welchen die einfallenden Strahlen zur Oberfläche verschiedener brechender Mittel geneigt sind, gleich, so wird ein Strahl um so mehr gebrochen, je grösser der Unterschied in der Dichtigkeit des ersten und zweiten Mittels ist, doch nicht ganz genau im Verhältniss dieser Dichtigkeit. — Nennt man den Winkel, welchen der einfallende Strahl mit der Senkrechten am Einfallspunkt bildet, Einfallswinkel, und jenen, welchen der gebrochene Strahl damit bildet, Brechungswinkel (eigentlich sollte der Winkel zwischen dem einfallenden und gebrochenen Strahl so heissen), und frägt man jetzt nach dem Verhältniss dieser Winkel, so findet man, dass es einem festen Gesetze folgt, dass nämlich für ein und dieselben Mittel sich die Winkel verhalten wie ihre Sinus, d. h. wie die Senkrechten, die von den beiderseitigen Strahlen in gleicher Entfernung vom Einfallspunkt auf die Senkrechte dieses Punktes gezogen werden.

Digitized by Google

Dieses Verhältniss heisst der Brechungsindex, und ist für verschiedene Mittel verschieden, z. B. wenn man den Sinus des Einfallswinkels in der Luft = 1 setzt:

für Wasser		**1,336**
„ Crownglas	**1,527** —	**1,553**
„ Flintglas	**1,588** —	**1,664**
„ Diamant		**2,439**

2. Gehen wir jetzt zu den kugelförmigen Flächen über, so ist klar, dass ein Strahl, der auf einen Punkt einer solchen Fläche fällt, so gebrochen wird, wie auf einer Ebene, die durch den Punkt senkrecht auf den Radius des treffenden Kugeltheiles gelegt ist, d. h. weil die Kugelfläche aus unzählig vielen Berührungsebenen bestehend gedacht werden kann, so wird jeder Strahl so gebrochen, wie wenn er auf eine solche Berührungsebene fiele, deren Loth der zum Einfallspunkt gezogene Halbmesser der Krümmung ist. Von einem leuchtenden Punkte gehen alle Strahlen divergent aus, das heisst gegen den Ursprung zusammenfallend, von ihm hinweg aber auseinander weichend. Treffen nun divergente Strahlen auf eine Kugelfläche, welche einem dichteren Mittel angehört, so werden sie je schiefer auffallend, desto stärker zum Loth, also auch zur Rotationsaxe der Kugelfläche hin gebrochen, und nur jener Strahl, welcher in der Verlängerung eines Halbmessers, also im Lothe selbst, sich befindet, geht ungebrochen hindurch. Durch dieses verhältnissmässige Hinziehen zu den unter sich zusammenlaufenden Halbmessern werden die Strahlen in dem dichteren Mittel weniger auseinanderweichen können, wenn nämlich die Kugelfläche nach aussen gewölbt ist, ihr Mittelpunkt also innerhalb sich befindet, oder wie man es nennt, die Fläche con-

Digitized by Google

vex ist; ja wenn die Krümmung der Fläche hinreichend stark ist, können die Strahlen aus der divergenten in die parallele und sogar in eine nach innen zu convergirende Richtung gebracht werden. Ist aber die Kugel-Fläche des dichteren Mittels nach innen gewölbt, also concav, so findet das Gegentheil statt. Die convergenten Strahlen von beiden Seiten der Axe ihres Lichtkegels werden in einem Punkte dieser Axe zusammentreffen, sich kreuzen, und ein Bild jedes Punktes entwerfen, von welchem sie ausgehend hinter die convexe Fläche gelangt sind.

Wie bereits gesagt, geht nur jener Strahl durch eine Kugelfläche ungebrochen durch, der in der Verlängerung ihres Halbmessers sich befindet. Man findet indess gewöhnlich die Behauptung aufgestellt, dass wenn ein dichteres Mittel nach vorn wie nach hinten von der gleichen Kugelfläche begränzt ist, also eine von beiden Seiten gleicherweise convexe Linse bildet, jeder durch ihre Mitte gehende Strahl seine Richtung nicht verändere. Diess ist nicht absolut wahr, und auch Fischer drückt sich nicht richtig genug darüber aus.*) Fällt nämlich ein Strahl so auf die Vorderseite der erhabenen Linse, dass er in seiner ursprünglichen Richtung ihre Mitte treffen würde, so ist er darum noch nicht in der Richtung des Lothes, wird also auch ein wenig gebrochen und trifft dadurch die Hinterseite etwas näher an der Axe als die Vorderseite, kann daher nicht mehr ganz in der gleichen Richtung aus dem Glas in die Luft treten, die er ursprünglich befolgt hat. Der aufgestellte Satz ist demnach eben wegen dieser ungleichen Entfernung des Eintritts- und Aus-

*) Dass ein Meniscus von gleichen Radien die Strahlen durchweg ungeändert lasse, ist an und für sich falsch.

Digitized by Google

trittspunktes von der Axe nur annähernd, doch für praktische Zwecke hinlänglich richtig. Ist die Linse nicht von beiden Seiten gleich erhaben, vielleicht gar hohl erhaben, so findet man den Punkt, für welchen dieser Satz gilt, den sogenannten optischen Mittelpunkt, durch die Formel $\frac{RD}{R+r}$*), wo R den Radius der Vorder-, r den der Hinterfläche und D die Dicke der Linse bedeutet. Jeder durch den genannten Punkt gehende Strahl heisst Hauptstrahl. Da die Strahlen, welche durch eine Linse gesammelt werden, wenn sie von einem Punkt ausgegangen sind, sich darnach in einem andern vereinigen, so nennt man den ersten vordern, den zweiten den hintern Vereinigungspunkt, und ihre Entfernungen von der Linse die vordere und hintere Vereinigungsweite. Ist kein vorderer Vereinigungspunkt vorhanden, das heisst kommen die Strahlen aus unendlicher oder wenigstens schwer messbarer Entfernung her, so nennt man die hintere Vereinigungsweite die Brennweite, weil in dem dazu gehörigen Punkt das durch eine erhabene Linse gesammelte Sonnenbild zündet.

3. Um jetzt die allgemeine Formel für eine doppelt erhabene Sammellinse ohne Rücksicht auf die Dicke zu finden, sey die Entfernung des leuchtenden Punktes von der Vorderfläche = a der Halbmesser der Vorderfläche = R, der der Hinterfläche = r, die Entfernung, in welcher der Strahl nach der ersten Brechung die

*) Nicht wie Fischer angibt: $\frac{RD}{r-R}$. Die Anwendung zeigt sogleich das Richtige, indem beide Halbmesser einer doppelt erhabenen Linse hier als positiv gesetzt sind, und selbst, wenn der hintere negativ genommen wird, der Nenner verkehrt ausfallen muss.

Digitized by Google

Axe schneiden würde $= x$, die hintere Vereinigungsweite $= \alpha$, der Winkel des einfallenden Strahls mit der Axe $= \varphi$, der Einfallswinkel $= \mu$, der Brechungswinkel $= \nu$, der Winkel des ersten Halbmessers mit der Axe $= \varrho$; dann hat man, wenn das Brechungsvermögen $n : 1$ ist, und für die ohnediess sehr kleinen Winkel die Sinus gleich den Bogen genommen werden:

$$\mu : \nu = n : 1$$

$$a + R : R = \mu : \varphi \text{ ex trig.}$$

$$\varrho = \mu - \varphi = \frac{a}{R}\,\varphi \text{ folglich}$$

$$x - R : x = \nu : \varrho = \frac{a+R}{n} : a$$

$$\text{und } x = \frac{aRn}{a(n-1)-R}.$$

In der gleichen Weise für die Hinterfläche verfahren, indem dafür aus a wird $-x$, und $\frac{1}{n}$ anstatt n zu nehmen ist, so hat man

$$\text{I.} \quad \alpha = \frac{aRr}{a\,(n-1)\,(R+r) - Rr}$$

$$\text{oder } \frac{n-1}{R} + \frac{n-1}{r} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$$

für parallele Strahlen ist $a = \alpha$, also, wenn dann $\alpha = p$,

$$\text{II.} \quad p = \frac{Rr}{(n-1)\,(R+r)} = \frac{a\alpha}{a+\alpha}.$$

Diess sind die Grundformeln zur Construction der Fernröhre und Microscope.

4. Wenn wir den leuchtenden Punkt in einen der Vereinigungs- oder Durchschnittspunkte versetzen, so

Digitized by Google

wird im andern Vereinigungspunkt sein Bild entstehen. Da nun die Hauptstrahlen von zwei äussersten von der Axe gleich entfernten Punkten eines Gegenstandes sich im Mittelpunkt der Linse unter gleichen Scheitelwinkeln kreuzen, und da die Grösse der den Winkeln gegenüberstehenden Seiten von ihrer Entfernung vom Scheitel, also um die Grösse des Bildes vom Gegenstand zu finden, von den bezüglichen Vereinigungsweiten, abhängt, so wird die Grösse des Bildes zu der des Gegenstandes sich verhalten, wie die hintere Vereinigungsweite zur vordern, also wie $\frac{\alpha}{a}$, während man in mehreren Lehrbüchern $\frac{p}{a}$ findet, wobei doch a unendlich, der Ausdruck also o würde, und im strengen Sinn gar kein Bild entstehen könnte, was also für die allgemeine Darstellung keine Bedeutung hat, dazu unlogisch und nur geeignet ist, den Lernenden zu verwirren. Um diess genauer nachzuweisen und zugleich zu weitern Folgerungen zu gelangen, setze man dieses Verhältniss zwischen der Grösse des Gegenstandes und des Bildes $\frac{\alpha}{a} = \frac{M}{m}$, so hat man:

$$\alpha = \frac{M}{a}\, a \text{ und } a = \frac{m}{M}\, \alpha$$

daher in II. $p = \dfrac{a \,.\, \frac{M}{m}\, a}{\left(a + \frac{M}{m} a\right)}$ oder, um eine leichte Lösung der Gleich zu geben

$$\frac{M}{m} a^2 = \left(a + \frac{M}{m} a\right) p$$

$$\frac{M}{m} a = \left(1 + \frac{M}{m}\right) p$$

$$a = \frac{p + \frac{M}{m} \cdot p}{\frac{M}{m}} = p + \frac{m}{M} p$$

und in den Werth von α substituirt

$$\alpha = p + \frac{M}{m} p,$$

d. h. Jede der bezüglichen oder zusammengehörigen Vereinigungsweiten ist gleich der Brennweite, dazu das Produkt dieser Brennweite in das Verhältniss der beiden Vereinigungsweiten.

Man kann also die Vereinigungsweiten gut durch die Brennweite und die Vergrösserung des Bildes ausdrücken, wenn diese gegeben ist. Die ganze Entfernung zwischen Gegenstand und Bild kann demnach in 4 Theile zerlegt werden, denn

$$a + \alpha = p + \frac{m}{M} p + p + \frac{M}{m} p$$

also hat man 1) $\frac{m}{M} p$, dann 2mal p und 4) $\frac{M}{m} p$, freilich die Glasdicke ungerechnet. Nennen wir jetzt, obwohl in der Wirklichkeit nur ein Brennpunkt erscheint, das eine p Vorderbrennweite, das zweite p Hinterbrennweite, dann $\frac{m}{M} p$ Vorbrennpunktweite und $\frac{M}{m} p$ Nachbrennpunktweite und multipliziren wir die beiden

Digitized by Google

letztern, so erhält man $\frac{m}{M} p . \frac{M}{m} p = p^2$ und es ergeben sich diese beiden hübschen Sätze:

Die Brennweite ist die mittlere Proportionale zwischen der Vor- und Nachbrennpunktsweite.

Und: **Die Vor- und Nachbrennpunktsweite stehen in Bezug auf die Brennweite unter sich in verkehrtem Verhältniss, wenn die eine wächst, nimmt die andere ab.**

Fischer schlägt vor: die Hinterbrennweite, wo sich das Bild eines Sterns findet, Astralweite, die Vorderbrennweite, Antastrale, die Vorbrennpunktsweite Vorastraldistanz und die Nachbrennpunktsweite Nachastraldistanz zu nennen. Diess wäre allerdings gut, besonders da Hohlgläser gar keinen eigentlichen Brennpunkt haben. Doch da wir im Deutschen weniger genöthigt sind, das Wort Brennweite immer zu gebrauchen, und da obige, wenn auch etwas unbeholfenen Ausdruckweisen dem herrschenden Gebrauch eher entsprechen, so wollen wir auch im Folgenden dabei bleiben. Die beiden Brennpunkte, den ursprünglichen und den ihm beigeordneten, die also ganz gleiche Eigenschaften besitzen, könnte man auch Wende- oder Angelpunkte nennen, da um sie, wie um Pole sich alle dioptrischen Rechnungen drehen, ja da grundsächlich das Wesen negativer oder positiver dioptrischer Grössen nicht so sehr von ihrer Richtung zur Linse, als vielmehr von ihrer Lage gegen diese Punkte abhängt.

5. Wir nehmen die Vorbrennpunktweite oder die Entfernung des vordern Vereinigungspunktes vom vordern Brennpunkt, und die Nachbrennpunktweite, oder

Digitized by Google

den Unterschied zwischen der Hinterbrennweite und hintern Vereinigungsweite positiv, so lange die Brennpunkte innerhalb die treffende Vereinigungsweite fallen, und negativ, wenn die Brennweite grösser wird als die Vereinigungsweite auf derselben Seite, so dass also die Vor- und Nachbrennpunktweite im Brennpunkt selbst Null, zwischen Glas und Brennpunkt Minus, jenseits des Brennpunkts aber Plus wird. Dadurch werden alle dioptrischen Verhältnisse viel klarer und bestimmter, und was in der Theorie der optischen Instrumente dunkel und verwirrt erscheint, wird hell und deutlich.

In der That, wenn man die Vorbrennpunktweite unendlich gross annimmt, d, h. wenn die Strahlen von einem unendlich weit entfernten Punkt ausgehen, oder parallel auffallen, so wird die Nachbrennpunktweite unendlich klein, ja zuletzt Null; die Strahlen kommen im hintern Brennpunkt selbst zusammen, wie die Erfahrung zeigt. In dem Maasse aber, dass der leuchtende Punkt dem Vorderbrennpunkt sich nähert, also die Vorbrennpunktsweite abnimmt, in demselben Verhältniss entfernt sich auf der entgegengesetzten Seite der Schlusspunkt der Nachbrennpunktweite. Wenn auf diese Art der vordere Vereinigungspunkt auf den Vorderbrennpunkt gelangt, also die Vorbrennpunktsweite unendlich klein wird, so wird sich der hintere Vereinigungspunkt in unendlicher Entfernung befinden, die gebrochenen Strahlen sind parallel, und die Nachbrennpunktweite ist unendlich gross geworden. Wenn ferner der vordere Vereinigungspunkt bei fortgesetzter Annäherung an die Linse innerhalb die Vorderbrennweite gelangt, die Vorbrennpunktsweite also negativ zu werden anfängt, und zwar zuerst um sehr weniges, so

Digitized by Google

wird auch die Nachbrennpunktsweite negativ, aber um sehr vieles, das heisst, der hintere Vereinigungspunkt befindet sich auf der der frühern entgegengesetzten Seite in sehr grosser Entfernung. In dem Maasse, dass die negative Grösse der Vorbrennpunktsweite zunimmt, nimmt die der Nachbrennpunktsweite ab, bis sie ganz an der Linse selbst zusammentreffen und gleich ihren Brennweiten werden. Ebenso, wenn wir den hintern Vereinigungspunkt betrachten, findet sich, dass wie er sich im positiven Sinne entfernt, auch die Vorbrennpunktsweite positiv werden muss, und zwar zuerst unendlich gross, und dann immer kleiner, bis wieder der Vorbrennpunkt mit dem Brennpunkt übereintrifft, wo dann die Nachbrennpunktweite unendlich gross ist, und die von einem Punkt gekommenen Strahlen parallel werden. So sind also die Hauptbrennpunkte eigentliche Pole, um welche Vor- und Nachbrennpunktweite nach ihrer positiven oder negativen Richtung sich bewegen, und worin die unendliche positive Grösse augenblicklich in eine unendliche negative übergehen kann. Es ist überdiess klar, dass, so lange die negative Vorbrennpunktsweite nicht über die vordere Brennweite hinausgeht, oder der Ausgangspunkt des Strahlenkegels sich noch auf derselben Seite mit dem Vorderbrennpunkt befindet — ein Fall, wobei die Strahlen immer mehr divergiren — die jetzt beständig negative Nachbrennpunktweite verhältnissmässig grösser wird, als die hintere Brennweite, d. h. dass ihr Schlusspunkt oder der hintere Vereinigungspunkt auf die gegentheilige Seite fällt, wo die hintere, und auf dieselbe, wo die vordere Brennweite ist; so dass also die Strahlen auch nach ihrem Austritt divergiren. Da nun die Strahlen

Digitized by Google

nach ihrem Ausgang vom leuchtenden Punkt immer vorwärts, nie rückwärts gehen (ausser bei der Reflexion, wo doch auch nur ein Beharren des Fortganges von vorn nach umgebeugter Richtung, und nicht eine eigentlich rückgängige Bewegung sich zeigt), so ist augenscheinlich, dass in dem letztern Fall kein wirklicher hinterer Durchschnittspunkt stattfinden werde, weil die Strahlen immer mehr auseinandergehen. Daher erhält man nur dadurch, dass man sie sich nach der ihrer Richtung entgegengesetzten Seite verlängert denkt, einen Durchschnittspunkt, der aber rein imaginär ist. Nämlich die Richtung der Strahlen, die von einem leuchtenden Punkt ausgehen (oder die Strahlen eines und desselben Kegels), erscheint beim Austritt aus der Linse so, als kämen diese geradenwegs ohne die Linse aus diesem imaginären Brennpunkte.

Und im Gegentheil, so lange die negative Nachbrennpunktweite nicht die hintere Brennweite übersteigt, und, obgleich immer näher, immer noch auf dieselbe Seite der Linse fällt, muss die ebenfalls negative Vorbrennpunktweite beständig grösser seyn, als die vordere Brennweite, d. h. in Bezug auf diese sich jenseits des Glases befinden, also auf derselben Seite mit der Nachbrennpunktweite; die Strahlen müssen daher von der Seite des hintern Brennpunktes divergiren, was den Regeln, die das Licht beim Ausfluss von Körpern beobachtet, entgegen ist. Dieser so entstehende Punkt ist demnach auch nur imaginär und die Strahlen fallen convergirend auf die Linse, was in der Natur nicht statthaben könnte, ausser wenn die Strahlen zuerst durch eine Linse oder einen Hohlspiegel convergent gemacht worden sind. Convergent werden aber Strahlen

Digitized by Google

durch ein zweites brechendes Mittel nur, wenn es dichter ist als das erste, und wenn seine Flächen nach aussen hinreichend erhaben sind, oder die eine erhaben und die andere plan, oder wenigstens die eine mehr erhaben als die andere hohl. Wenn jedoch das zweite Mittel weniger dicht ist, als das erste, so muss in seinen Flächen die hohle Form vorwiegen, damit die Strahlen convergent werden können. —

6. Es wird gut seyn, hier auf einen Irrthum aufmerksam zu machen, in welchen man leicht verfallen könnte bei Angabe der Vor- und Nachbrennpunktweiten. Man soll sich bei ihrer Berechnung keineswegs auf die absolute Grösse einer der Entfernungen, die in irgend einem bestimmten Maass, z. B. Zollen, gegeben ist, fussen; und besonders darf man nicht vergessen, dass die Vorbrennpunktweite etwas anderes ist, als die Entfernung des leuchtenden Punktes oder Gegenstandes vom Glase, weil diese vielmehr die Summe von jener und von der Brennweite ist. Wenn wir hierin uns irren, so können wir nicht nur ganz verschiedene Nachbrennpunktweiten, sondern diese sogar negativ erhalten, obgleich die Vorbrennpunktweite positiv war. Man muss nicht glauben, dass, wenn die Vorbrennpunktweite m oder —m ist, die Nachbrennpunktweite dann $\frac{1}{m}$ oder $-\frac{1}{m}$ seyn werde, und noch weniger, wenn m die Entfernung des leuchtenden Punktes ausdrückt, dass man sogar für ein + m in der Nachbrennpunktweite ein —m erhalten könne. Darum war auch oben im zweiten Grundsatz Nr. 4. gesagt, dass das verkehrte Verhältniss zwischen Vor- und Nachbrennpunktweite nicht ein ganz einfaches sey, sondern nur in Bezug

Digitized by Google

auf die Brennweite stattfinde. Also wenn z. B, die Vorbrennpunktweite **5** Zoll und die Brennweite **2** Zoll, so sollte erstere eigentlich durch $\frac{5}{2}$, für eine Brennweite von **3** Zoll durch $\frac{5}{3}$, für eine von **10** Zoll durch $\frac{5}{10}$ ausgedrückt werden, und für dieselbe Hinterbrennweite hat man nur dann die Nachbrennpunktweite $= \frac{1}{5}$ wenn die Brennweite $= 1$ ist, für obige Brennweiten aber $\frac{2}{3}$, $\frac{2}{5}$, $\frac{1}{2}$; so entsprechen bei einer 3zölligen Brennweite den Vorbrennpunktsweiten 4, 7, 5, $\frac{2}{5}$ Zoll, welche also hier durch $\frac{4}{3}$, $\frac{7}{3}$, $\frac{5}{3}$, $\frac{2}{9}$ zu bezeichnen sind, die Nachbrennpunktweiten $\frac{3}{4}$, $\frac{3}{7}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{9}{2}$; überhaupt allgemein dem $\frac{M}{m}$ p entspricht $\frac{m}{M}$ p, also dem $\frac{4}{3} . 3 = 4$, sodann $\frac{3}{4} . 3 = \frac{9}{4}$, und es ist $4 . \frac{9}{4} = 9 = 3^2$, wie schon oben angedeutet wurde.

Weiters folgt ganz natürlich, dass die Negation eines der correspondirenden Durchschnittspunkte nicht nothwendig bedingt, dass der andere absolut imaginär oder in Bezug auf die Linse negativ sey, denn jede Vereinigungsweite ist aus der Brennweite und der Vor- oder Nachbrennpunktweite zusammengesetzt, und es kann der Durchschnittspunkt nur dann jenseits des Glases fallen, also nicht wirklich werden, wenn die negative Grösse nicht über die Brennweite hinausgeht. Also: Eine Vorbrennpunktsweite, welche, positiv oder negativ, grösser als die Brennweite ist, zieht immer einen wirklichen hintern Vereinigungspunkt nach sich; eine negative oder positive Nachbrennpunktsweite grösser als die Brennweite, setzt einen wirklichen Ausgangspunkt der Strahlen voraus; — endlich nur wenn die Vor- oder Nachbrennpunktweite negativ und kleiner als die Brennweite ist, wird der correspondirende

Digitized by Google

Vereinigungspunkt imaginär, weil seine negative Entfernung grösser als die Brennweite wird, also übers Glas hinaus fällt.

Endlich folgt auch, wie schon oben angedeutet, da für eine erhabene Linse der Gegenstand um die Vorbrennpunkt- und Brennweite, und sein Bild um die Brennweite und Nachbrennpunktweite von ihr entfernt ist, die Hauptstrahlen aber nahe in der Mitte der Linse sich kreuzen, dass die relativen Grössen des Gegenstandes und Bildes sich gerade verhalten wie die Entfernungen ihrer Durchschnittspunkte mit der Axe, abgesehen von allen dabei zum Vorschein kommenden Abweichungen. Wenn also die Grössen g und G sind, so hat man $G : g = a : \alpha$.

Nun ist $a = p + \frac{m}{M} p$ und $\alpha = p + \frac{M}{m} p$,

daher wird, wenn die Grösse des Bildes ein Vielfaches von der des Objectes, oder diese die Einheit von jener, also $\frac{m}{M} = \frac{1}{M}$ ist, $a = \left(1 + \frac{1}{M}\right) p$ und $\alpha = (1 + M) p$

das heisst: das in einem bestimmten Verhältniss vergrösserte Bild befindet sich für eine Convexlinse so viel mal, mehr die Einheit, von der Linse entfernt, als deren Brennweite beträgt; nicht, wie sonst gelehrt wird, nur um das Multiplum der Brennweite. Dieser Satz ist wichtig für die Micrometeroculare, weil an der Stelle des Bildes das Micrometer sich befinden soll. Damit aber dieses Bild sich in jener Enfernung finde, muss der Gegenstand nicht bloss um die Brennweite, sondern noch um den Quotienten von dieser und der Vergrösserungszahl

Digitized by Google

entfernt seyn, denn stünde er in der Brennweite, so bekäme man parallele Strahlen und kein Bild. Durch diese neuen bündigen Regeln wird auch, wenn das Bild ein Vielfaches vom Gegenstand ist, Vor- oder Nachbrennpunktweite immer die eine das Vielfache von der andern, was gewiss zur bequemen Rechnung sehr vortheilhaft ist.

7. Wir wollen noch im Kurzen die Theorie des Sehens vornehmen, ehe wir zum Microscop übergehen, weil es unerlässlich ist, sich von jenem zuerst einen Begriff zu bilden. Nach dem, was wir im Vorhergehenden gefunden haben, lässt sich denken, dass auch das einfache natürliche Sehen von gleichen Umständen ablänge, dass auch im Auge die Lichtbrechung stattfinde. In der That der Augapfel besteht aus mehreren durchsichtigen gekrümmten Häuten, und ist mit Flüssigkeiten von verschiedener Dichtigkeit angefüllt, an der Hinterwand befindet sich überdiess eine Verbreiterung des Sehnervens, und da man nun die Gegenstände nur bei hinreichender Helligkeit sieht, so gelangt man zu diesen beiden Schlüssen:

Der Augapfel wirkt wie mehrere übereinander gelegte Linsen; Und: Das Sehen ist dann ein bestimmtes, wenn die Entfernung des Gegenstandes vom Auge so beschaffen ist, dass die Strahlen nach den verschiedenen Brechungen, die sie erleiden, sich im Innern des Auges auf der Fläche der Netzhaut also vereinigen, dass sie dort ein (verkleinertes und verkehrtes) Bild des Gegenstandes bewirken. — Die Empfindungen aller äussern Sinne können in letzter Beziehung auf das Gemeingefühl, das an der Oberfläche unsers ganzen Körpers sich findet, zurückgeführt werden, so dass dieses nur nach der verschiedenen Beschaffenheit der Organe

Digitized by Google

verschiedenen Aenderungen unterliegt. Das Sehen ist nun, bloss materiell genommen, auch nichts anderes, als, um es so greifbarer zu machen, die Berührung der Netzhaut, nicht zwar durch die Gegenstände selbst, sondern durch Vermittlung der Strahlen, die von diesem ausgehen, und gleichsam als Sonden auf die Retina wirken. Das Sehen wird darum rein und bestimmt seyn, wenn alle Strahlen, die von einem und demselben Punkt ausgehen, und nur diese, auf ein einziges Theilchen jener sensiblen Netzhaut zusammenfallen; und im Gegentheil wird es mehr oder minder unbestimmt seyn, wenn entweder die Strahlen, die von einem Punkt kommen, auf verschiedene Punkte der Netzhaut fallen, wovon eine vervielfältigte Wahrnehmung desselben Punktes entsteht, oder wenn Strahlen, die von verschiedenen Punkten kommen, auf ein einziges kleinstes Theilchen der Netzhaut wirken, wodurch die Auffassung jener Punkte verwirrt wird.

Es ist auch einleuchtend, dass, wenn irgend ein Gegenstand sich zu nah oder zu fern vom Auge befindet, als dass die Strahlen, die von ihm ausgehen, jenen Bedingungen Genüge leisten könnten, kein deutliches Sehen statt finden wird; im ersten Fall nicht, weil die brechende Kraft des Augapfels, wovon seine Brennweite abhängt, nicht ausreicht, um die Strahlen zu einer solchen Convergenz zu bringen, dass sie sich auf der Netzhaut selbst kreuzen können; und im zweiten Fall nicht, weil die Strahlen sich kreuzen werden, ehe sie die Netzhaut erreichen. Kurz, die Netzhaut wird in beiden Fällen nicht durch die Spitzen der Strahlenkegel, sondern durch ganze Lichtkreise getroffen, welche im ersten Fall von convergirenden Strahlen,

Digitized by Google

die sich noch nicht vereinigt haben, herrühren, im zweiten von divergenten Strahlen nach deren Vereinigung. Es ist hier natürlich nicht die Rede von dem Fall, wo die Vorbrennpunktweite negativ und kleiner, als die Brennweite wird, denn dann entsteht gar kein wirkliches Bild. Es giebt demnach für jedes Auge eine gewisse Entfernung des Gegenstandes, in welcher dieser am deutlichsten in all seinen Theilen gesehen wird. Es ist diess die Weite des deutlichen Sehens, welche nicht nur für die Augen verschiedener Personen, je nachdem sie mehr oder minder kurz- oder weitsichtig sind, sondern oft auch für beide Augen ein und derselben Person verschieden ist.

Man muss indess diese deutliche Sehweite nicht gar zu genau nehmen, denn man kann noch Gegenstände sehen, die sich in verschiedener Entfernung vom Auge befinden, und zwar aus zweierlei Gründen. Vorerst ist anzunehmen, dass zum deutlichen Sehen nicht durchaus nöthig sey, dass die von einem Punkt ausgehenden Strahlen sich auf der Netzhaut in einem geometrischen Punkt vereinigen. Vielmehr muss jedes kleinste wahrnehmungsfähige Theilchen jener Membrane doch wie alle physischen Dinge eine gewisse Ausdehnung haben,*) und es genügt, dass die Strahlen auf

*) Nach Treviranus besteht die Netzhaut aus drei Hauptschichten, einer äussern fleischigen und körnigen, einer mittlern nervösen und fibrösen, die durch die Verlängerung des Sehnervens gebildet ist, und einer innern, welche (was andere läugnen) die Fortsetzung der vorigen und von cylindrischen Fibern gebildet ist, die gegen das Innere des Auges hin in kleine Zäpfchen auslaufen. Die Grösse dieser Zäpfchen wurde im Lapinauge von 0,0033 mm gefunden, im Auge von Vögeln zu 0,002 — 0,004, in dem des Frosches 0,0066 und im letztern die erwähnten Cylinder 0,004 mm gross, im Men-

Digitized by Google

einem Raum vereinigt werden, der nicht die Grösse jenes Theilchens übertrifft. Darin liegt es auch wohl, dass verschiedene Personen, die ein übrigens gutes Gesicht haben, feinere Gegenstände nicht gleich gut unterscheiden können, und dass ihnen z. B. die Striche einer sehr feinen Theilung, sobald diese eine gewisse Gränze übersteigt, nicht mehr wahrnehmbar sind. Es ist glaublich, dass je kleiner und gedrängter die wahrnehmenden Theilchen der Netzhaut sind, desto feinere und engere Einzelheiten gesehen werden, wenn aber jene Theilchen grösser und weniger nahe beisammen sind, mehre dieser Einzelheiten schon auf ein und dasselbe Theilchen treffen, und nicht mehr getrennt zu unterscheiden sind. Der zweite Grund, dass man auch noch ausser der genauen deutlichen Sehweite ziemlich gut sehen kann, ist, weil das Auge des Menschen (und beinahe aller mit Sehkraft begabten Thiere) das Vermögen hat, die hintere Vereinigungsweite ein wenig zu ändern, und also in verschiedenen Augenblicken die Strahlen von verschieden entfernten Gegenständen auf der Netzhaut zu vereinigen. Dieses Vermögen, das man Accomodationsvermögen des Auges nennt, hängt vorzüglich davon ab,*) dass die Muskeln, welche den Augapfel bewegen, dessen Häute verschiedentlich anspannen können, so dass durch dessen verschiedene Wölbung verschiedene Brennweite entsteht, und dann auch, weil diese Muskeln den Augapfel dem Gegenstand oder auch der Netzhaut um ein kleines ferner oder näher bringen können, wodurch die Nachbrennpunktweite ein wenig

schenauge aber hat Treviranus die Zäpfchen der Netzhaut zu 0,0001 — 0,00015″ gefunden.

*) Ich muss hier abermals von Fischer abweichen.

Digitized by Google

geändert wird. Vielleicht ändert sich auch die Brechungskraft der Augentheile je nach der grössern oder geringern Anstrengung und Ausdehnung. Indess bleibt es ein für allemal richtig, dass, obwohl das Auge mit Anstrengung verschiedentlich entfernte Gegenstände hinlänglich unterscheiden kann, es doch nur in der Weite des deutlichen Sehens ganz rein und ohne Beschwerden sieht.

Es ist nun andererseits auch einleuchtend, dass Gegenstände, welche weiter als um die Weite des deutlichen Sehens entfernt sind, verhältnissmässig noch immer vollkommener gesehen werden, als solche, welche in demselben Grade näher beim Auge sind, denn die Vor- und Nachbrennpunktweite stehen unter sich in Bezug auf die Brennweite in verkehrtem Verhältniss. Setzen wir nämlich, dass die Brennweite eines gewissen Auges z. B. ein Zoll sey, dessen Weite des deutlichen Sehens 11 Zoll, so ist klar, dass, weil hier die Vorbrennpunktweite 10 Zoll beträgt, die Nachbrennpunktweite $= \frac{1}{10}$ Zoll seyn wird, und die Entfernung der Netzhaut von der Hornhaut oder Vorderfläche des Auges $= 1\frac{1}{10}$ Zoll. *) Entfernt man den Gegenstand auf 12, 15, 19, 20, 21 Zoll vom Auge, so bildet sich das Bild in der Vereinigungsweite $1\frac{1}{11}$, $1\frac{1}{14}$, $1\frac{1}{18}$, $1\frac{1}{19}$, $1\frac{1}{20}$ Zoll hinter der Linse ohne Rücksicht auf deren Dicke; aber wenn man ihn um eben so viel nähert, also auf 10, 7, 3, 2, 1 Zoll, so wird die Vereinigungsweite $= 1\frac{1}{9}$, $1\frac{1}{8}$, $1\frac{1}{2}$, 2 und ∞. Für den ersten Fall

*) Der Durchschnittspunkt der Hauptstrahlen ist hier der Bequemlichkeit wegen auf der Hornhaut selbst angenommen; in Wahrheit ist er jedoch ungefähr in der Mitte des Auges oder im Centrum der Hornhautkrümmung.

Digitized by Google

ändert sich also die hintere Vereinigungsweite nur bis auf $\frac{1}{20}$ Zoll, ein Werth, der immer noch von dem Accomodationsvermögen des Auges aufgewogen werden kann, während sie im zweiten Fall, zwischen $\frac{1}{10}$, 2, ja unendlich schwebt, was für jenes Vermögen gewiss zu gross ist, denn das Auge kann durch die Muskelspannung in seiner Axe von $1\frac{1}{10}''$ bis auf $1\frac{1}{20}''$, also nicht ganz um den 220sten Theil seines Durchmessers,*) aber nicht um sein doppeltes oder gar darüber verkürzt werden. Der wirkliche Werth der bestimmten Sehweite eines mittelmässigen Gesichtes, d. h. die Weite des deutlichen Sehens bei den meisten Augen, von welchen man gewöhnlich sagt, sie seyen gute, beträgt zwischen 8 und 10 Zoll. Die Augen, wo sie beträchtlich grösser ist, heissen weitsichtige, presbyte, und jene, wo sie, wenn auch nur wenig, kürzer ist, kurzsichtige, myope. Man findet welche, die auf 6, 4, 3, ja, was aber äusserst selten ist, auf 2 Zoll deutlich sehen, und beiden Presbyten solche, die auf 11, 15, 20 Zoll ja weiter als der ausgespannte Arm reicht, Ehrenberg meint sogar auf 5 Fuss, ohne grosse Anstrengung gewöhnliche Schrift lesen können, Man verwechselt bisweilen gute Augen mit Weitsichtigkeit, indess kann, wie schon gesagt, ein gutes Auge sich auch auf einige Ferne anpassen, was beim kurzsichtigen nicht der Fall ist. Letzteres ist aber weniger den Veränderungen durch Alter und andere Ursachen unterworfen.

8. Indem wir jetzt zur Betrachtung des Sehens durch sphärische Linsen gelangen, bemerken wir sogleich, dass man bisher auf dreifache Weise irre ge-

*) Die genaue Messung desselben von Prof. Krause siehe Pogg. Ann. XXXIX, 530. oder Radike Handbuch d. Optik II, 215.

Digitized by Google

gangen ist. — Man hat erstens durchweg angenommen, dass die Strahlen von irgend einem Punkt des Gegenstandes durch das Ocular des optischen Instrumentes parallel gemacht werden müssten, um deutliches Sehen hervorzubringen. Aber dann würde man gerade den Gegenstand nicht nur nicht vollkommen, sondern im Gegentheil gar nicht sehen, denn die Strahlen, die ins Auge gelangen, schienen dann aus unendlicher Ferne zu kommen.

Zweitens glaubte man, dass der Gegenstand, um durch eine Linse deutlich vergrössert zu werden, in deren Brennweite gehalten werden müsse. Steht dagegen schon die vorige Bemerkung, so noch mehr die einfache Wahrnehmung, dass verschiedene Personen je nach ihrer Sehweite, den Gegenstand der Linse näher oder ferner bringen müssen, um deutlich zu sehen, ja bei einer einfachen Linse, wie ich noch weiter bemerken will, wird der Kurzsichtige und Mittelsichtige den Gegenstand stets innerhalb die Brennweite bringen, und nur Personen von hinreichender Weitsichtigkeit dürfen ihn vor derselben halten.

Drittens hat man die Ursache und den Grad der Herbeiziehung eines Gegenstandes durch eine Linse in dem Verhältniss ihrer Entfernung vom Auge zur Weite des deutlichen Sehens gesucht, und behauptet, die Stärke der Vergrösserung sey durch das Verhältniss der Brennweite zur mittleren Sehweite gegeben. Diese Annahme jedoch entbehrt der nähern Begründung und zieht die widersinnige Folgerung nach sich, dass eine erhabene Linse aufhöre zu vergrössern, ja verkleinere, sobald ihre Brennweite die Weite des deutlichen Sehens übersteigt.

Digitized by Google

Fischer vergisst indess zu bemerken, dass letztere Annahme nur der Bequemlichkeit wegen gemacht wurde, und eben auch nur für den Fall, wo der Gegenstand um die Brennweite entfernt ist, sowie dass bei einer gewissen Entfernung des Gegenstandes Verkleinerung stattfinde.

In Wahrheit ist es viel angemessener, zu sagen: Um einen Gegenstand durch eine erhabene oder Hohllinse deutlich zu sehen, muss er sich in einer solchen Entfernung befinden, dass die von einem jeden Punkt desselben ausgehenden Strahlen, nachdem sie auf ihrem Weg eine doppelte Brechung erfahren haben, so von einem Punkte zu divergiren scheinen, als wenn sie ohne Zwischensetzung der Linse von einem in der Weite des deutlichen Sehens befindlichen Punkt herkämen. In diesem Fall wird der Gegenstand natürlich ganz rein in all seinen Theilen gesehen, weil sich davon auf der Netzhautfläche im Hintergrund des Auges ein klares Bild entwirft. Damit aber der zum deutlichen Sehen nöthige Grad der Divergenz der Strahlen entstehe, muss, wenn das Auge sich ganz an der Linse befindet, der hintere Vereinigungspunkt von dieser sich in der Weite des deutlichen Sehens vor demselben befinden, und seine Entfernung negativ und gleich der Summe aus Brennweite und Nachbrennpunktweite seyn. — Man findet weiters, dass die der besagten Nachbrennpunktweite entsprechende Vorbrennpunktweite negativ, und sich im verkehrten Verhältniss der Nachbrennpunktweite bezüglich der Brennweite von dem vordern Brennpunkt entfernt befindet, also in einer Entfernung von der Linse, die gleich der Brennweite ist, weniger dem Verhältniss der Brennweite zur Nachbrennpunktweite. Oder

Digitized by Google

um es noch klarer zu geben, sey V die Weite des deutlichen Sehens, p die Brennweite der Linse, so wird die Nachbrennpunktweite seyn müssen $= -(V + p)$, also die Entfernung des hintern Vereinigungspunktes von der Linse $= p - (V + p) = -V$, was auch so ausgedrückt werden kann $= p - \frac{V + p}{p} p$, woraus folgt die Vorbrennpunktweite $= -\frac{p^2}{V + p}$ und

$$a = p - \frac{p^2}{V + p} = \frac{Vp}{V + p},$$

d. h. man muss zum deutlichen Sehen, wenn das Auge ganz an der Linse ist, den Gegenstand auf eine Entfernung von der Linse halten, welche gleich ist der Brennweite, weniger das Quadrat der Brennweite getheilt durch die Summe der deutlichen Sehweite und der Brennweite; nicht wie sonst einfach in der Entfernung der Brennweite. — Endlich wird der Grad der Vergrösserung durch eine erhabene Linse gleich seyn dem Verhältniss der also gefundenen Vor- und Nachbrennpunktweiten, oder noch einfacher ausgedrückt, hat man aus 6. gesucht, wenn man die eben gebrauchten Buchstaben beibehält, die Vergrösserung $M = \frac{V + p}{p} = \frac{V}{p} + 1$, wofür man gewöhnlich viel zu wenig genau $\frac{V}{p}$ nimmt. Man sieht nun leicht, dass man mittels einer erhabenen Linse, welches auch ihre Brennweite sey, selbst wenn sie die Deutlichkeitsweite um vieles übertrifft, doch immer die Gegenstände vergrössert sieht,

Digitized by Google

denn man sieht sie so gross, wie sie in ihrer natürlichen Grösse = 1 sind, und noch dazu so viel, als das Verhältniss der Deutlichkeitsweite zur Brennweite beträgt; so klein also auch der Bruch für dieses Verhältniss seyn mag, so werden sie doch um seinen Werth noch grösser seyn, als wie ohne Glas gesehen. Man muss also sagen: eine erhabene Linse vergrössert die gehörig gestellten Gegenstände über ihre natürliche Grösse noch um das Verhältniss der Deutlichkeitsweite zur Brennweite. —

Um Irrthümern, die man leicht begeht, vorzubauen, dürfte es nützlich seyn, Folgendes zu bemerken: Erstens: die oben erlangte Einheit 1 drückt weder die Brennweite, noch die Deutlichkeitsweite, noch die Maaseinheit für beide aus, sondern bezeichnet im Gegentheil die Entfernung des Gegenstandes oder die vordere Vereinigungsweite, und muss deshalb in verschiedenen Fällen durch verschiedene Zahlen oder Brüche ausgedrückt werden. In der That, da sie die Entfernung des Gegenstandes bedeutet, von welchem durch eine Linse mit der Brennweite p in der Entfernung — V vor der Linse ein imaginäres Bild entsteht, so ist klar, dass sie in V ausgedrückt, der $\frac{V+p}{p}$te Theil davon ist, oder $= \frac{V}{\left(\frac{V+p}{p}\right)} = \frac{Vp}{V+p} = \frac{p}{V+p}V$; und drückt man sie in p aus, so wird sie

$$= p - \frac{p^2}{V+p} = \left(1 - \frac{p}{V+p}\right)p$$

wie bereits vorhin gefunden wurde.

Digitized by Google

Zweitens darf man nicht denken, dass es gut sey, zur grössern Bequemlichkeit $p = 1$ zu nehmen, wodurch die Formel $a = 1 - \frac{1}{V+1}$ würde, so dass man im Rechnen leicht vergessen könnte, dass das erste $1 = p$, während das zweite im Zähler des Bruches das Quadrat davon, und das dritte im Nenner wiederum $= p$ seyn soll. Würde nun p durch irgend eine andere Zahl als 1, z. B. durch 5, 8 oder 10 Linien ausgedrückt, so könnte man beim Rechnen nach der also vereinfachten Formel grosse Fehler begehen. Man könnte höchstens p als die absolute Maaseinheit annehmen, worauf dann V nothwendig in derselben ausgedrückt werden müsste; diess findet aber in der Ausübung nicht leicht statt.

9. Weil die Sache für die Theorie des Sehens durch Linsen sehr wichtig ist, mag noch bemerkt werden, dass, indem das Sehen die Wahrnehmung der die Netzhaut sondirenden Strahlen oder des daselbst gebildeten Bildes ist, die scheinbare Grösse der Gegenstände offenbar von der Grösse des im Hintergrund des Auges entworfenen Bildes abhängt. Diese Grösse selbst richtet sich nach dem Werthe der Winkel, welche die von den Endpunkten des Gegenstandes kommenden Strahlen im Centrum der Krystalllinse bilden. Der Winkel der Hauptstrahlen von den äussersten Punkten des Gegenstandes ist es demnach, welcher die scheinbare Grösse der gesehenen Gegenstände bestimmt, und man nennt ihn Gesichtswinkel. Es leuchtet also ein, dass eine erhabene Linse ein vergrössertes Bild des Gegenstandes unter einem Winkel sehen lässt, der so gross ist, wie jener, welchen der Gegenstand geben würde, wenn er

Digitized by Google

dem Auge auf eine viel kürzere Entfernung nahe gebracht würde, denn jene der Weite des deutlichen Sehens, nämlich auf nicht mehr als den $\frac{V+p}{p}$ten Theil von dieser. Wenn man sich also den Gegenstand ganz nahe an sein Bild gebracht denkt, so wird er davon nicht mehr als den $\frac{V+p}{p}$ten Theil in linearem Sinn einnehmen, insofern er ja auch noch innerhalb der Brennweite steht. Man kann und muss also nur sagen, dass man durch Hülfe einer Linse nicht eigentlich die Gegenstände unmittelbar, sondern nur ihr Bild sieht, das indess nicht wahrhaft und wirklich erscheint, sondern nur virtuell und in der Theorie, d. h. dass die Strahlen, die ins Aug gelangen, eine Richtung befolgen, als kämen sie nicht vom Gegenstand, sondern von einem Bild, das in der Deutlichkeitsweite sich befindet, und $\frac{V+p}{p}$mal so gross ist als jener. Man hat nun für die Deutlichkeitsweite von 9 Zoll und für folgende Brennweiten nachstehende Vergrösserungen.

Brennweite:

1″ 0,9 0,8 0,7 0,6 0,5 0,4 0,3 0,2 0,1 0,075 0,05 0,02 0,01

Vergrösserung:

10 11 12¼ 13⅔ 16 19 23½ 31 46 91 121 181 451 901

Für die Deutlichkeitweite von 10 Zoll hätte man bei

Brennw. 1″ 10,1 0,01

Vergr. 11 101 1001 mal

Die Brennweite $\frac{1}{100}$ Zoll kommt höchstens bei den Pritchardschen Demantlinsen vor, die in einzelnen Fällen sehr trefflich, aber anstrengend sind. —

Digitized by Google

Aus der Formel $\frac{V + p}{p}$ folgt nun auch, dass die Gegenstände einem normalen und presbyten Auge grösser erscheinen, als einem myopen, d. h. dass ein kurzsichtiges Auge im Verhältniss zu einem weitsichtigen mehr oder minder an Vergrösserung verliert. Wenn indess gefragt wird, ob es auch die kleinsten Theile weniger gut sieht, so kann man wohl mit Nein antworten, denn eben weil der Kurzsichtige die Gegenstände näher halten muss, wird der Gesichtswinkel, der die scheinbare Grösse bestimmt, grösser und es tritt darum von jedem Punkt mehr Licht in die Augenlinse. So muss man also im Allgemeinen sagen, dass das kurzsichtige Auge, wenn es nur sonst gesund ist, an und für sich die Einzelntheile besser unterscheidet, als das weitsichtige, und dass es, obwohl ihm die Microscope geringere Vergrösserung liefern, als diesem, doch bei dieser geringern Vergrösserung eben so gut und bestimmt die kleinsten Theile erkennt, als das Weitsichtige bei einer verhältnissmässig stärkeren Vergrösserung.

Ein anderes ist es übrigens bei Fernröhren, um es hier nebenbei zu bemerken; denn bei diesem gewinnt der Kurzsichtige an Annäherung der Gegenstände, was der Weitsichtige verhältnissmässig nun verliert. Denn das durchs Objectiv gewonnene Bild ist ausserordentlich klein, aber da es in dessen Brennweite entsteht und die Hauptstrahlen fast dieselben Winkel, wie mit dem blossen Aug bilden, so steht die Grösse des Bildes zur scheinbaren Grösse des Gegenstandes in demselben Verhältniss, wie seine Entfernung vom Objectiv (oder die Brennweite des letztern) zur Tragweite des Auges. Ist nun P die Brennweite des Objectivs und weiss man,

Digitized by Google

dass die Vergrösserung des Fernrohrs gleich ist der des Objectivs multiplicirt mit jener des Oculars, das als ein Microscop angesehen wird, so hat man

$$M = \frac{P}{V} \times \frac{V+p}{p} = \frac{P}{p} + \frac{P}{V}$$

nicht $\frac{P}{p}$ allein, wie gewöhnlich angegeben wird, woraus nun obige Behauptung von selbst folgt.

Eine fernere Folgerung aus unserer Theorie des Sehens ist auch diese, dass der passendste Ort fürs Auge während der Beobachtung mit einem einfachen Microscop ganz nahe an der Linse ist, denn dann hat man die meiste Vergrösserung und das grösste Gesichtsfeld. Eines ist indess wohl zu bemerken, um nicht Anstoss zu finden, obgleich Fischer darauf keine Rücksicht genommen hat. Man kann nämlich den Gegenstand durch Entfernung des Auges von der Linse auch noch grösser finden, aber nicht mehr so, dass er zugleich am deutlichsten erscheint, es handelt sich also zugleich hier um die grösstmögliche Bestimmtheit des Sehens und für diese erscheint der Gegenstand allerdings am grössten, wenn das Auge nah bei der Linse ist. Man darf desswegen auch nicht denken, dass die Fassung der Linse keinen Einfluss auf deren Kraft habe. Je mehr das Auge sich von der einfachen Linse entfernt, desto geringer werden auch in eben gesagter Beziehung Vergrösserung und Gesichtsfeld. Für ein zusammengesetztes Microscop aber und für das Fernrohr kommen noch andere Umstände in Betracht, so bald nur die Oeffnung ein wenig grösser ist als die der Krystalllinse. Man hat auch hier eine gewisse vortheilhafte Entfernung

Digitized by Google

des Auges, ungefähr um die Hälfte der Brennweite der letzten Linse, in welcher zwar die Vergrösserung etwas geringer als ganz nahe daran ausfällt, aber die grösste Menge Strahlen ins Aug gelangt.

10. Obwohl man auf eine der Wahrheit ziemlich nahe kommende Weise den Grad der Vergrösserung eines einfachen Microscops mittels einer passend angebrachten camera lucida messen kann, so bietet eine solche Messung doch in der Ausführung ihre Schwierigkeiten dar, und ist nicht sehr genau, da weder das Auge noch die camera lucida ganz an die Linse gebracht werden kann. Es ist darum weit besser, die Stärke des Microscopes also zu bestimmen, dass man zuerst die Brennweiten der Linsen sucht, und dann daraus ihre Vergrösserung berechnet, obwohl auch hier ein geringer Fehler in den Elementen oft in der Formel zu einem grossen wird, wodurch die Bestimmung der Vergrösserung immerdar schwierig bleibt. Hierüber nun einiges Nähere.

Man hat bisher mehre Methoden vorgeschlagen, um die Brennweite einer erhabenen Linse zu bestimmen, aber für sehr starke Linsen wie bei einfachen Microscopen sind sie mindestens unzureichend, und ermangeln, auf falsche Voraussetzung gebaut, der nöthigen Schärfe. Man hat z. B. vorgeschlagen, mittels der Linse ein deutliches Bild eines entfernten Gegenstandes entwerfen zu lassen, und dann aus den beiden Vereinigungsweiten die Brennweite zu rechnen. Diese Methode, obgleich streng in der Theorie, kann doch nur gut angewendet werden, um die Brennweite zu finden, wenn sie beträchtlich ausfällt, wie bei den Objectiven der Fernrohre, und zum Theil bei deren Oculären,

Digitized by Google

so lange sie nicht zu stark sind. Aber für die kräftigen Linsen eines einfachen Microscopes leuchtet ein, dass eine der beiden Vereinigungsweiten sehr klein werden muss, und der mindeste in der Messung begangene Fehler, der sich um so leichter ereignen kann, wenn man die Dicke der Linse nicht in Rechnung zieht, zieht einen beträchtlichen Fehler in Bestimmung der Brennweite nach sich.

Diesen Fehler zu vermeiden hat man eine zweite Methode angegeben, die auch in der Theorie sehr genau erscheint, aber wiederum aus der gleichen Ursache wie die vorige in der Ausführung unverlässlich ist. Man lässt nämlich durch die Linse ein Bild eines unendlich oder doch sehr beträchtlich entfernten Gegenstandes sich entwerfen, und misst die Entfernung des Bildes zur Linse, welche ihre Brennweite ist Obgleich in diesem Fall, wenn der Gegenstand in unendlicher Entfernung ist, die Theorie gut zutrifft, und ziemlich nahe der Wahrheit kömmt, wenn der Gegenstand nur sehr weit entfernt ist, so misst man doch nur die kleinere Vereinigungsweite, hat also dieselbe Fehlerquelle wie vorhin. Von unendlich entfernten Gegenständen, wie die Sterne sind, kann man höchstens die Sonne zu diesem Zweck anwenden, was aber darum sehr schwer ist, weil man wegen des starken Glanzes nicht leicht erkennt, ob man ein reines Bild erhalten hat oder nicht, welchem Umstand man freilich einigermassen durch Verkleinerung der Oeffnung abhelfen kann, indem man einen Theil der Linse verdeckt.

Die dritte und mangelhafteste, obwohl ziemlich oft gebrauchte, Methode besteht darin, dass man die Entfernung bestimmt, in welcher man den Gegenstand von

Digitized by Google

der Linse weg halten muss, um ihn in all seinen Theilen durch diese deutlich zu sehen, welche Entfernung man nun für die Brennweite nimmt. Oben ist bereits das Falsche einer solchen Annahme gezeigt worden. Wenn man aber auch gesagt hätte, diese Entfernung sey jene, deren Verhältniss zur Deutlichkeitsweite das Maass der Vergrösserung bestimmt, so hätte man zwar, wenn man sie als die Einheit nimmt in der Formel von 8., recht, aber würde der nämlichen Unvollkommenheit begegnen, die man in den beiden vorigen Fällen trifft.

Fischer giebt nun eine Methode an, welche, weil sie von den beiden Vereinigungsweiten die grössere, und nicht die kürzere, welche eher einen Fehler nach sich ziehen kann, zu messen hat, auch für stärkere Linsen genauer ist, als die vorigen. Man muss in einer hinreichenden Entfernung durch die Linse ein vervielfachtes Bild eines kleinen Gegenstandes entwerfen lassen; gemäss unserer ersten Formel für die Vergrösserung wird die Brennweite gleich dem Quotienten dieser Entfernung dividirt durch eine Zahl, die um eins grösser ist als dieses Vielfache. Zur Ausführung dieser Methode muss man die Linse mit Wachs oder sonst was an das Ende eines Rohres befestigen, in welches sich ein anderes Rohr schieben lässt, das an seinem hintern Ende eine erhabene Ocularlinse (oder nur einen Deckel mit einem Loch) trägt, in deren Brennweite sich eine Blendung befinden muss. Ist dieser Apparat ungefähr wie ein zusammengesetztes Microscop hergerichtet, so darf man nur ein Objectivmicrometer betrachten, und das Instrument so lang verlängern, bis man auf einer Theilung in Glas oder Talg, die auf der Blendung liegt, in einer für die Messung hinreichenden Entfernung

Digitized by Google

das um ein Vielfaches vergrösserte Bild des Micrometers sieht. Man kann auf dem innern Rohr von der Höhe der Blendung an abwärts eine Eintheilung anbringen, und kennt man also die Länge des äussern Rohres, so hat man die Entfernung des um ein Vielfaches vergrösserten Bildes, welcher auch die Eintheilung des Rohres entsprechend verfertigt werden kann, indem man oben bei der Blendung nicht Null, sondern das Maass des äussern Rohres einzeichnet.

Die Berechnung der Brennweite aus den Radien und dem Brechungsverhältniss des Glases ist zunächst Sache des Optikers, welcher die Linsen verfertigt, und ist für jeden andern, der diese Elemente nicht kennt, nutzlos. Da übrigens Fischer nur die Weise kennen lehrt, wodurch die Brennweite erhabener Linsen gemessen wird, so mag es dem Leser nicht unangenehm seyn, auch jene hier zu finden, durch welche die Brennweiten von Hohlgläsern bestimmt werden. Bleiben wir zuerst bei der obigen Methode stehen, wo es sich um die Erzeugung eines Bildes von einem sehr weit entfernten Gegenstande handelt, so sieht man sogleich, dass bei einem blossen Hohlglase kein solches entstehen kann, wohl aber durch die Zusammensetzung eines Hohlglases mit einem erhabenen, das stärkere Krümmung, also kürzere Brennweite als jenes besitzt. Kennt man nun die Brennweite des erhabenen Glases $= p$, und hat jene der Zusammensetzung nach obiger Methode $= P$ gefunden, so bekommt man die negative Brennweite des Hohlglases aus der Formel $p' = \frac{Pp}{p-P}$, wornach man sich nun einen Maassstab verfertigen kann. Dieser Maassstab leidet da, wo die Theilung

Digitized by Google

enger zusammentritt, also bei längeren Brennweiten wenig Unterabtheilung; zudem ist er für eine andere Convexlinse wieder ein anderer, und man hat auch noch mit dem oben bemerkten Mangel der hieher bezüglichen Methode zu kämpfen. Um nun sowohl erhabene als hohle Linsen mit grösster Bequemlichkeit nach ihren Brennweiten in absolutem Maasse bestimmen zu können, hat mein Bruder Sigmund Merz eine sinnreiche Methode erdacht. Bekanntlich, wenn man ein Fernrohr auf einen unendlich entfernten Gegenstand zum deutlich Sehen eingestellt hat, und hält nun eine erhabene Linse vor dasselbe, so kann man einen vor derselben befindlichen Gegenstand nur dann sehen, wenn er um ihre Brennweite absteht, denn dann erhält das Fernrohr wieder durch die Linse parallele Strahlen. Für unsern Zweck mache man also die Strahlen irgend eines Gegenstandes durch eine Convexlinse parallel, als wenn sie von einer unendlichen Ferne kämen und stelle das Fernrohr, das zum Einstellen für verschiedene Distanzen mit mehreren Zugröhren versehen seyn muss, darauf ein; sodann setze man die zu messende erhabene Linse vor's Objectiv, bringe einen bestimmten Gegenstand oder eine feine Mire in solche Entfernung davon, dass man ihn deutlich sieht; alsdann ist diese Entfernung die Brennweite der Linse. Gerade die umgekehrte Wirkung hat eine Concavlinse. Daher stelle man das Fernrohr auf den unendlich entfernten Gegenstand ein, während man das Hohlglas vorhält, und dann nach dessen Wegnahme bringe man den nahen Gegenstand auf solche Entfernung vom Objectiv, dass er ganz deutlich gesehen wird. Diese Entfernung aber ist nichts anderes als die Brennweite der hohlen Linse. So hat

Digitized by Google

man nun ein Verfahren, das zu allen Zeiten auch im Zimmer und bei Nacht angewendet werden kann, während man sonst selbst für den sehr entfernten Gegenstand vom Wetter beim Messen abhing, und man wird mich daher wegen der grossen Brauchbarkeit dieser Methode gern entschuldigt halten, dass ich sie hier angeführt habe.

11. Bereits haben wir die in Vorausgehendem gefundenen Modificationen dioptrischer Gesetze auf das einfache Microscop angewendet gesehen, sofern dieses aus einem Glas besteht; es wird aber zu besserer Einsicht in den Einfluss dieser Modificationen zweckdienlich seyn, auch die Theorie der einfachen mit keinem Ocular versehenen Microscope, welche aus mehren Linsen bestehen, durchzugehen, und zwar zuerst die einfachen Microscope mit zwei Linsen oder die sogenannten Dubleten zu behandeln, und dann sogleich die Untersuchung der einfachen Microscope mit drei Gläsern oder Tripleten daran zu knüpfen.

Man begreift leicht, dass auch hier wie im Allgemeinen für jedes optische System, der Grundbedingung des richtigen Sehens genügt werden muss, d. h. dass die von einem Punkt ausgehenden Strahlen, nachdem sie die aufeinanderfolgenden Brechungen durchgemacht haben, endlich aus der letzten, dem Auge nächsten Linse so austreten müssen, als kämen sie von einem Punkt, der vom Auge in der Deutlichkeitsweite absteht. Der hintere Vereinigungspunkt muss sich also für die letzte Linse vor ihr in dem Abstand des deutlichen Sehens befinden, was voraussetzt, dass die Nachbrennpunktweite negativ und gleich diesem Abstand mehr der

Digitized by Google

Brennweite sey, und eine entsprechende Vorbrennpunktweite zur Folge hat. Dieser vordere Vereinigungspunkt wird nun zum hintern Vereinigungspunkt der zweiten, der letzten nächst vorangehenden Linse, deren entsprechende Vorbrennpunktweite den Platz für den Gegenstand der Beobachtung, oder für ein Triplet den hintern Vereinigungspunkt der ersten vordersten Linse geben wird, für welche ebenfalls der Gegenstand in die entsprechende vordere Vereinigungsweite gehalten werden muss. Die durch dieses erste Glas erhaltene Vergrösserung wird somit durch die des zweiten und dritten vermehrt werden. Für jedes steht sie in Bezug auf die natürliche Grösse des Gegenstandes, oder vielmehr für die beiden letzten Gläser in Bezug auf ihre virtuellen oder imaginären Bilder, im Verhältniss der zusammengehörigen Vereinigungsweiten; die gesammte Vergrösserung wird also gleich dem Product der Verhältnisse der aufeinanderfolgenden Vereinigungsweiten seyn. Da sich indess die Linsen eines solchen Systems nicht unmittelbar berühren, sondern meistens in bestimmte Entfernungen gegen einander gestellt werden, so macht diess die Berechnung sowohl der Entfernung des Gegenstandes von dem Duplet oder Triplet, je nach den Elementen, aus denen dieses besteht, als auch des Grades der Vergrösserung verwickelt, besonders aber, wenn auch die Dicke jeder Linse in Betracht gezogen werden muss, da sie auf die Abstände der Linsen wesentlichen Einfluss hat. Man wird darum die Vergrösserung eines Duplet oder Triplet am bequemsten finden, indem man das ganze System als eine Linse ansieht und in der schon bekannten Weise verfährt, nämlich erfahrungsmässig die Brenn-

Digitized by Google

weite bestimmt, und daraus die Vergrösserung rechnet. — Aber eben um unserm oben angedeuteten Zweck, die gefundenen dioptrischen Modificationen anschaulicher zu machen, zu erreichen, sollen einige Beispiele der Berechnung für die einzelnen Linsen angeführt werden. Nehmen wir also an, wir hätten ein Duplet, das aus zwei planconvexen Linsen, jede zu 1 Zoll Brennweite: zusammengesetzt ist, und setzen wir die Deutlichkeitsweite = 9 Zoll, so ist klar, dass jede der Linsen für sich eine 10malige Vergrösserung hat, und dass sie mit ihren Planflächen unmittelbar aufeinander gelegt, eine von beiden Seiten gleich erhabene Linse von $\frac{1}{2}$ Zoll Brennweite bilden würden mit 19maliger Vergrösserung, wenn man auf ihre Dicke keine Rücksicht nimmt. Aber sobald die Linsen von einander getrennt sind, wird die Vergröserung ganz anders ausfallen. Nennen wir beide Linsen L und L', p und p' ihre Brennweiten, die Deutlichkeitsweite V, die vorderen und hinteren Vereinigungsweiten der treffenden Linsen a und α, a' und α', ihre Vor- und Nachbrennpunktweiten D und d, D' und d', die Entfernung der Linsen unter sich E, die Vergrösserung der ersten Linse A, die der zweiten A', und nimmt man für eine dritte Linse für die entsprechenden Grössen die Bezeichnungen L'', p'', a'' und α'', D'' und d'', A'' und E', so hat man für ein Duplet, vom hintern Glas an gerechnet:

$$\alpha' = a - E,\ V = 9,$$

$$a = p + D,\ \alpha = p + d,\ A = \frac{\alpha}{a}$$

$$a' = p' + D',\ \alpha' = p' + d',\ A' = \frac{\alpha'}{a'}$$

Digitized by Google

daher $AA' = \frac{\alpha\alpha'}{a\,a'}$

und wenn nun $p = p' = 1''$, dann ist bei

	$E = o$,	$E = \frac{1}{10}$,	$E = \frac{2}{10}$,	$E = \frac{5}{10}$
$-V = \alpha = -9$		"	"	"
$d = -10$		"	"	"
$\frac{1}{d} = D = -\frac{1}{10}$		"	"	"
$a = 1 - \frac{1}{10}$		"	"	"
$A = 10$		"	"	"
$a - E = \alpha' = -\frac{9}{10}$		$= -\frac{8}{10}$	$= -\frac{7}{10}$	$= -\frac{4}{10}$
$d' = -\frac{10}{10}$		$= -\frac{18}{10}$	$= -\frac{17}{10}$	$= -\frac{14}{10}$
$D' = -\frac{10}{19}$		$= -\frac{10}{18}$	$= -\frac{10}{17}$	$= -\frac{10}{14}$
$a' = \frac{9}{19}$		$= \frac{8}{18}$	$= \frac{7}{17}$	$= \frac{4}{14}$
$A' = \frac{19}{10}$		$= \frac{18}{10}$	$= \frac{17}{10}$	$= \frac{14}{10}$
$AA' = 19$		$= 18$	$= 17$	$= 14$

Wäre die Rechnung nach den gewöhnlichen Formeln gemacht worden, so hätte man dieselben Endwerthe erhalten; aber indem man die Vor- und Nachbrennpunktweiten einführt, wird nicht nur die Rechnung einfacher, sondern auch der Weg der Strahlen ersichtlicher, als in der sonst üblichen Methode, wo man den Endwerth erhält, ohne seine Herkunft kennen zu lernen, wenn man nicht eigene Untersuchung anstellt, die eben auch wieder nur den besonderen Fall giebt und nichts weiter.

Nachstehende Beispiele wird man sich nun selbst leicht berechnen können, und aus den Ergebnissen an-

Digitized by Google

gemessene Schlüsse ziehen:

	p = p′	= 2″		
für	E = 0	= $\frac{1}{2}$″	= 1″	
	a′ = $\frac{0}{10}$	= $\frac{50}{69}$	= $\frac{14}{29}$	
	AA″ = $\frac{20}{11}$	= $\frac{60}{44}$	= $\frac{20}{22}$	
p = p′ = 3″	p = 3″	= 3″	p = 2″	= 2″
	p′ = 2″	= 2″	p = 3″	= 3″
	E = 0	E = 0 = 1″	E = 0	= 1″
	a′ = $\frac{0}{7}$	= $\frac{17}{8}$ = $\frac{13}{8}$	= $\frac{51}{53}$	= $\frac{40}{53}$
	AA′ = 7	= $8\frac{1}{2}$ = $6\frac{1}{2}$	= $8\frac{1}{2}$	= $6\frac{2}{5}$

Für folgende Tripleten ohne Entfernung ist:

p = $1\frac{1}{2}$″	= 4″
p′ = 1″	= 3″
p″ = $\frac{1}{2}$″	= 2″
a″ = $\frac{0}{34}$	= $\frac{36}{43}$
AA′A″ = 44	= $10\frac{3}{4}$

Wenn man diese Beispiele rechnet, findet man gleich, um wie viel natürlicher und schöner Fischers Methode gegen die gewöhnliche ist, weil man in dieser a, α und $\frac{\alpha}{a}$ gebraucht, also jedesmal zuerst a finden muss aus der Brennweitenformel, nämlich $a = \frac{\alpha p}{\alpha - p}$, während man mit der Formel $M = \frac{\alpha - p}{p}$ schneller zum Ziel kömmt, indem man das entsprechende a gar nicht bedarf, und wenn ja, es auch auf anderm Weg erhalten kann, wie nachstehende zur Vergleichung an-

Digitized by Google

gestellte Entwicklungen zeigen werden. Nach der gewöhnlichen Methode ist für $E = E' = 0$

$$\alpha = -V,\ a = \frac{-pV}{-V-p} = -\alpha',$$

und wiederum aus obiger Formel:

$$a' = \frac{\frac{Vpp'}{V+p}}{\frac{Vp + (V+p)p'}{V+p}} = -D''$$

ebenso

$$a'' = \frac{\frac{Vpp'p''}{Vp+(V+p)p'}}{\frac{Vpp' + [Vp+(V+p)p']p''}{Vp+(V+p)p'}}$$

$$= \frac{Vpp'p''}{Vp(p+p'') + (V+p)p'p''}$$

ferner

$$A = \frac{V}{\left(\frac{Vp}{V+p}\right)} = \frac{V}{p} + 1$$

$$A' = \frac{\frac{Vp}{V+p}}{\frac{Vpp'}{Vp+(V+p)p'}} = \frac{Vp}{(V+p)p'} + 1$$

$$AA' = \frac{(V+p)}{p} \cdot \frac{Vp + (V+p)p'}{(V+p)p'} = \frac{V}{p} + \frac{V}{p'} + 1,$$

als allgemeine Formel.

Digitized by Google

$$A'' = \frac{\frac{Vpp'}{Vp+(V+p)p'}}{\frac{Vpp'p''}{Vpp' + [Vp + (V+p)p']p''}}$$

$$= \frac{Vpp'}{[Vp+(V+p)p']p''} + 1.$$

$$AA'A'' = \frac{V}{p} + \frac{V}{p'} + \frac{V}{p''} + 1$$

Wenn wir aber die Entfernung einrechnen, nämlich beim Duplet E, und beim Triplet E', so erhalten wir, indem die bereits ohne Rücksicht der Entfernung gefundenen Werthe durch Einklammerung ( ) bezeichnet werden:

$$\alpha' = (\alpha') - E = \frac{Vp - (V+p)E}{V+p}$$

$$\text{ex form. } a' = \frac{[Vp - V+p)E]p'}{Vp + (V+p)(p'-E)} = -(\alpha'')$$

$$A' = \frac{Vp+(V+p)(p'-E}{(V+p)p'} = (A') - \frac{E}{p'}$$

$$AA' = (AA') - \frac{(V+p)E}{pp'} = \frac{V}{p} + \frac{V}{p'} + 1 - \frac{(V+p)E}{pp'}$$

$$\alpha'' = -(a' - E')$$

$$= -\frac{Vp(p'-E') - (V+p)[Ep' + (p'-E)E']}{Vp + (V+p)(p'-E)}$$

$$a'' =$$

$$\frac{[Vp(p'-E') - (V+p)[Ep' + (p'-E)E']]p''}{Vp(p'-E') - (V+p)[Ep' + (p'-E)]E' + Vpp'' + (V+p)(p'-E)p''}$$

$$A'' = \frac{Vp\,(p'+p''-E') - (V+p)\,[Ep' - (p'-E)(E'+p'')]}{Vp + (V+p)\,(p'-E)\,p''}$$

$$AA'A'' = \frac{Vp(p'+p''-E') - (V+p)[Ep' - (p'-E)(E'+p'')]}{pp'p''}$$

$$= (AA'A'') - \frac{E(V+p)(p'+p'') + E'(E-p')(V+p) + E'Vp}{pp'p''}$$

eine Formel, die in andern Werken einfacher aussieht, aber länger zur Entwicklung braucht.

Nach Fischers Methode hat man aber ohne Rücksicht auf Entfernung:

$$\alpha = -V,\quad d = -V-p,$$

aus 8) $$D = -\frac{p^2}{V+p}$$

$$a = p - \frac{p^2}{V+p} = \frac{Vp}{V+p} = -\alpha'$$

$$d' = -\frac{Vp}{V+p} - p' = -\frac{Vp + (V+p)p'}{V+p}$$

$$D' = -\frac{(V+p)p'^2}{Vp' + (V+p)p'}$$

$$a' = p' - \frac{(V+p)p'^2}{Vp + (V+p)p'} = -\alpha''$$

$$A = \frac{V+p}{p},\quad A' = \frac{Vp + (V+p)p'}{(V+p)p'}$$

$$AA' = \frac{Vp + (V+p)p'}{pp'} = \frac{V}{p} + \frac{V}{p'} + 1$$

Digitized by Google

$$A'' = \frac{V p p' + [V p + (V+p) p'] p''}{[V p + (V+p) p'] p''}$$

$$A A' A'' = \frac{V p p' + [V p + (V+p) p'] p''}{p p' p''}$$

$$= \frac{V}{p} + \frac{V}{p'} + \frac{V}{p''} + 1$$

und mit Rücksicht auf Entfernung der Linsen:

$$d' = -\frac{V p}{V+p} - p' + E = -\frac{V p + (V+p)(p' - E)}{V+p}$$

$$\alpha' = d' + p', \quad A' = (A') - \frac{E}{p'}$$

$$A A' = (A A') - \frac{(V+p) E}{p p'}$$

$$D' = \frac{p'^2}{d'} = -\frac{(V+p) p'^2}{V p + (V+p)(p' - E)}$$

$$a' = p' - \frac{(V+p) p'^2}{V p + (V+p)(p' - E)} = -(\alpha'' + E)$$

$$d'' = -\frac{[V p - (V+p) E] p'}{V p + (V+p)(p' - E)} + E' - p''$$

$$A'' = \frac{-\frac{[V p - (V+p) E] p'}{V p + (V+p)(p - E)} + E' - p''}{p''}$$

$$= \frac{V p (p' + p'' - E') - (V+p)[E p' - (p' - E)(E' + p'')]}{V p + (V+p)(p' - E) p''}$$

$$AA'A'' = \frac{Vp(p'+p''-E')-(V+p)[Ep'-(p'-E)(E'+p'')]}{pp'p''}$$

$$= AA'A'' - \frac{E(V+p)(p'+p'')+E'(E-p')(V+p)+E'Vp}{pp'p''}$$

wie vorhin.

12. Aus den vorangehenden Rechnungen lassen sich mehrfache Folgerungen ableiten. Erstens: je mehr man die Linsen eines Duplets von einander entfernt, desto mehr verliert man auch an Vergrösserung, indem die durch das erste, dem Gegenstand zugewandte, Glas erhaltene Vergrösserung wiederum geringer wird, der Gesichtswinkel nämlich kleiner ist, weil auch mit der nun grössern vorderen Vereinigungsweite des letzten Glases, die hintere abnimmt. Wenn die Entfernung also der Brennweite des zweiten Glases gleich ist, wie es in der Praxis aber nicht vorkömmt, so wird die Vergrösserung des ganzen Duplets nur so gross seyn, als die der zweiten Linse allein. Entfernt man sie noch mehr von einander, so hat man gar kein eigentliches Duplet-Microscop, denn es müsste sich schon ein Bild zwischen den Linsen bilden, was derart convergirende Strahlen voraussetzt, dass sie von einem Gegenstand aus divergirend, nicht bestehen könnten, ohne zuvor durch eine dritte zwischen dem Gegenstand und dem ersten Glas gelegene Linse, durch ein Objectiv nämlich, gegangen zu seyn. Hier hat man in der zweiten oder mittleren Linse nun den Fall des sogenannten Collectivs oder Sammelglases, wie es bei zusammengesetzten Microscopen gebraucht wird. Steigert man die Entfernung wiederum und ist sie gleich der Summe der Brennweiten der beiden Linsen, so versehen diese den

Digitized by Google

Dienst eines astronomischen Fernrohres für unendlich entfernte Gegenstände. Noch ein wenig weiter von einander abstehend, wirken sie wie ein Endfernrohr, lassen aber, wie in den beiden vorhergehenden Fällen den Gegenstand verkehrt erscheinen. Endlich, wenn man mit der Entfernung der Linsen auch darüber hinausgeht, so hat man ein zusammengesetztes Microscop der einfachsten Art zuerst für sehr entfernte Gegenstände, und dann für nähere.

Zweitens sieht man schon, dass die Vergrösserung, welche man durch ein Duplet erhält, durch zwei aufeinanderfolgende Vergrösserungen bewirkt wird. Zuerst durch die Vergrösserung des Gegenstandes in seinem virtuellen Bilde, wie es durch die erste Linse erzeugt ist, und dann durch jene dieses Bildes durch das zweite Glas. Die ganze Vergrösserung wird darum dem Produkt der letztern mit der erstern gleich seyn, und für ein Triplet gleich dem Produkt der drei aufeinander folgenden einzelnen Vergrösserungen. Aber weil jedesmal, sey es, dass man durch die Convexlinse sieht, oder von ihr das Bild entwerfen lässt, die Vergrösserung vom Verhältniss der beiden Vereinigungsweiten abhängt, so ist es klar, dass für den Fall eines Duplet ohne Entfernung der Linsen, und indem man diese unendlich dünn annimmt, das Verhältniss der Entfernung, in welchem man davor den Gegenstand, um ihn deutlich zu machen, halten muss, also das Verhältniss der ersten vordern Vereinigungsweite zur Weite des deutlichen Sehens oder zur letzten hintern und negativen Vereinigungsweite, die Stärke der Vergrösserung ausdrückt. Aber sobald eine Entfernung der Linsen des Duplets statt hat, so dass die zweite vordere Vereini-

gungsweite nicht mehr der hintern Vereinigungsweite des ersten dem Gegenstande nächsten Glases gleich ist, sondern diese gleich der ersten weniger der Entfernung sich findet, so wird dieses Verhältniss zerstört oder wenigstens verschleiert, und die Vergrösserung selbst mit der Zunahme der Entfernung vermindert.

Drittens hat die Dicke der Gläser immerhin auch einen Einfluss auf das Ergebniss der Rechnung. Da wir aber diese bisher nicht berücksichtigten, so müssen wir ihrethalben an den Formeln eine Veränderung anbringen. Die Strahlen nämlich, wenn sie durch beide Flächen einer Linse gehen, gelangen zur ersten aus der Luft ins Glas und gehen von der zweiten aus dem Glas wieder in die Luft, so dass man eine erhabene brechende Fläche von Glas und eine hohle von Luft hat. Da aber die Luft vor und hinter dem Glas dieselbe ist, und genau an die entsprechende Fläche des Glases anschliesst, so leuchtet ein, dass man die Linse wie ein von den beiden Flächen gebildetes Duplet ansehen kann, dessen Linsen um die Dicke des Glases von einander entfernt sind. Nennen wir diese Dicke e, so hat man daher auch

$$A = \frac{V+p}{p} + \frac{V}{p'} - \frac{(V+p)e}{pp'},$$

wenn diese Brennweiten für die beiden Flächen gelten, und zur Bestimmung der Brennweite des Systems:

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{p-e} + \frac{1}{p'}$$

Berechnet man indess die Aenderung durch die Dicke der Linsen durch Entwicklung der Formel für

Digitized by Google

die Vereinigungsweite, indem man die halbe Dicke = E als Element in derselben einführt und deren höhere Potenzen vernachlässigt, heisst dann k die Vereinigungsweite der ersten Fläche, und α die Vereinigungsweite einer unendlich dünn gedachten Linse, so hat man von dieser letztern $\frac{\alpha^2}{k^2}$ nE, wo n das Brechungsvermögen, abzuziehen, um die Vereigungsweite einer Linse von der Dicke 2E zu erhalten.

Viertens ist aber für eine Linse mit schneidenden Rändern, also für eine biconvexe oder planconvexe oder für einen Convexmeniskus, die Dicke nicht überall dieselbe. Sie ist grösser in der Mitte und nimmt ab gegen den Rand, während in Convexgläsern der Rand dicker ist als die Mitte. Auf solche Weise hat man beim Convexglas ein Duplet, welches an den Rändern näher beisammen steht, als am Centrum, so dass der Rand mehr vergrössert, als die Mitte, und die Brennweite der Parallelstrahlen, die am Rand einfallen, wird kleiner als diejenige der auf die Mitte fallenden. Dieses hat nun natürlich Einfluss auf die Reinheit der Bilder, aber auch die sogenannte Kugelabweichung bringt eine Undeutlichkeit des Bildes hervor, und es wird sich der Mühe lohnen, die Sache etwas näher zu betrachten, um so mehr, als man bisher wohl auf die gesammte sphärische Abweichung, nicht aber auf deren einzelne Elemente Rücksicht genommen hat, Fischer aber in deren Auseinanderscheidung nicht ganz glücklich gewesen ist. Da man die Linse sich als ein Prisma denken kann, das bei jedem Berührungspunkt der Linse seinen brechenden Winkel ändert, so zwar, dass, je näher der Berührungspunkt am Rand liegt, desto grös-

ser der brechende Winkel ist, so wird man die Wirkung auf die verschiedentlich auffallenden Strahlen leicht begreifen.

Haben wir ein Prisma von einem bestimmten Brechungswinkel, so werden Strahlen, welche weiter von dessen Basis entfernt, bei Linsen, also von deren Axe, auffallen, auch später die Verlängerung dieser Basis hinter dem Prisma treffen, als solche die unter dem gleichen Winkel näher an der Basis auffallen, beide aber werden deren Verlängerung in gleicher Neigung treffen. Fallen ferner Strahlen, welche von einem und demselben in der Verlängerung der Basis befindlichen Punkt aus divergiren, unter verschiedenen Winkeln aufs Prisma, so werden zwar die schiefer, also auch entfernter von der Basis auffallenden stärker gebrochen, jedoch ebenfalls noch später, wenn auch nicht so viel wie vorhin, die Verlängerung schneiden, als die weniger geneigten und näher an der Basis auffallenden. Ist aber der brechende Winkel grösser, so werden die Strahlen auch mehr gebrochen, und desto eher die Verlängerung der Basis treffen. Für eine Convexlinse wird also durch das zunehmende schiefe Auffallen der Strahlen die Vereinigungsweite etwas verlängert, dagegen durch den am Rande grösseren brechenden Winkel wieder verkürzt. Für Concavlinsen und convergente Strahlen trifft das Gegentheil ein. Wir haben demnach für die sphärische Abweichung drei Elemente zu beachten: erstens die Dicke der Linse, zweitens das schiefe Auffallen der Strahlen, welche das eine für den Rand geringer, das andere stärker, aber beide die Vereinigungsweite verhältnissmässig verlängern, und drittens der brechende Winkel des Berührungsprisma, welcher im grösserm

Digitized by Google

Maasse, als die beiden vorhergehenden die Vereinigungsweite divergent auffallender Strahlen für den Rand ververlängern, diese im Gegentheil verkürzt. Der Ueberschuss des letztern Elementes über die beiden ersten ist also eigentlich der Effekt der sphärischen Abweichung, wie er in den Lehrbüchern der analytischen Dioptrik gegeben ist. Noch anders kann man aber so sagen: die gesammte sphärische Abweichung besteht aus der Abweichung, welche die Gestalt der ersten Fläche bewirkt, aus der Abweichung, welche die Gestalt der zweiten Fläche hervorbringt, für welche die Entfernung von der ersten Fläche eingerechnet wird, und aus der Abweichung, welche von der verschiedentlichen Dicke zwischen Mitte und Rand der Linse kömmt. Fischer meint nun, dass um die Abweichung zu mindern, man auch zu diesem Mittel greifen solle, nämlich die Dicke der Gläser zu verstärken, denn je dicker die Linse wird, desto geringer wird das Verhältniss zwischen ihrer grössten und kleinsten Dicke, desto unbeträchtlicher also auch die Randabweichung. Fischer glaubt daher, dass was bei Microscopobjectiven bereits geschieht, dass man ihre Linsen im Verhältniss zur Oeffnung und Brennweite ziemlich dick macht, wodurch man wohl etwas an Vergrösserung verliert, auch bei grossen Objectiven angewendet werden solle. Abgesehen aber davon, dass durch ein dickeres Glas mehr Licht verschluckt wird, so geht auch aus dem Obigen hervor, dass der eben angerühmte Vortheil keineswegs so beträchtlich ist, da die Abweichung wegen der Dicke allein jener wegen der Gestalt entgegenwirkt, erstere also eher zu befördern wäre.

Fischers Plan ist also zumal für einfache Linsen,

Digitized by Google

wo nicht durch ein Hohlglas auch noch die Abweichung der ungleichen Zerstreuung der Strahlen oder die Farbenabweichung gehoben werden soll, ohne Bedeutung.

Zum fünften könnte man fragen, ob für den Fall, dass man ein Duplet oder Triplet aus Linsen von verschiedenem Focus zusammensetzen will, es besser wäre, die stärkere Linse oder die schwächere zunächst an's Auge zu setzen. Wenn man zwei hieher gehörige Beispiele aus 11) betrachtet, so mag man gern glauben, es sey besser, die schwächere Linse gegen den Gegenstand, und die stärkere gegen das Auge zu kehren, und diess um so mehr, als die convexe Linse, die hier als Sammelglas erscheint, wenn sie von geringerer Brennweite ist, eine grössere Oeffnung erlaubt, ohne mehr Abweichung zu bewirken, und dadurch mehr Licht aufnimmt und auf die Retina gelangen lässt, also grössere Helligkeit verschafft. Indess geht ein Theil des solcher Weise gewonnenen Lichtes in seiner Divergenz zur Seite der zweiten Linse vorbei, also verloren. Dennoch gewinnt man durch jene Stellung sehr, weil dann das ganze Gesichtsfeld gleichmässig beleuchtet ist, was durch die umgekehrte Stellung nicht erzweckt werden kann. Da man überdiess durch die dabei mögliche geringere Entfernung der Linsen etwas an Vergrösserung gewinnt, so wird man die Stellung der schärfern Linse gegen die Seite des Gegenstandes hin nur in ganz wenigen Fällen wählen. — Die Dupleten und Tripleten sind nun den einfachen Linsen vorzuziehen, weil man mit ihnen grösseres Gesichtsfeld erlangt, die Krümmungsfehler nach beiden Seiten sich auf die einzelnen Gläser vertheilen, und die Abweichung mindern. Nur

Digitized by Google

muss man, was unbequem ist, den Gegenstand näher bringen als bei einer einfachen Linse. Sollte man jedoch meinen, dass von dieser Annäherung eine stärkere Vergrösserung erwächst, so wäre man jedenfalls im Irrthum. Denn so lange die Entfernung des Gegenstandes die Brennweite der Linse übertrifft, und man dabei dieser sich nähert, so lang entfernt sich jenseits der hintere Vereinigungspunkt immer mehr, und die Vergrösserung, die dem Verhältniss der zusammen gehörigen Vereinigungsweite entspricht, wird zunehmen. Jedoch entsteht hier ein wirkliches Bild, man hat also schon nicht mehr ein einfaches Microscop. Aber ist der Gegenstand innerhalb der Brennweite, so nimmt die nun negative Nachbrennpunktweite um so mehr ab, als die auch negative Vorbrennpunktsweite zunimmt, und kommt der Gegenstand ganz an die Linse zu stehen, so fallen beide zusammen, und die Vergrösserung wird Null. Nach dem Vorausgehenden und den übrigen bekannten Regeln der analytischen Dioptrik wird man nun die verschiedenen optischen Instrumente zu prüfen im Stande seyn, indem man nur die Entfernungen der Gläser gehörig berücksichtigt. Ich gebe darum nur noch das einfachste Beispiel, das eines zusammengesetzten Microscops, aus einem Objectiv und einem Ocular mit Collectiv bestehend. Ist C des letztern Brennweite, F die des Objectivs, A der Abstand des zweiten Bildes vom Collectiv und v die Vergrösserungszahl, so hat man die Entfernung des ersten Bildes vom Collectiv $= -\frac{AC}{A-C}$, daher $G = \frac{\frac{AC}{C-A}}{A}$ v die Grösse des ersten Bildes.

Digitized by Google

$E = \left(\frac{C}{C-A} v + 1\right) F$ die Entfernung des ersten Bildes vom Objectiv,

$e = E - \frac{AC}{C-A}$ die Entfernung des Collectivs vom Objectiv,

$$E' = \left(\frac{C}{C-A}\right) F - \frac{AC}{C-A} + A$$

die Entfernung des zweiten Bildes vom Objectiv.

Ich glaube nun, nicht mehr weiter in die Sache eingehen zu müssen, da hiefür in allen guten Handbüchern der Optik gesorgt ist. Man wird aus dem Vorhergehenden Fischers Verdienst hinlänglich zu würdigen vermögen. Sein pankratisches Microscop ward zuerst von Chevalier ausgeführt und theilweise verbessert, doch finde ich von dem Collectivglas, welches dieser unmittelbar nach den Objectiven einschaltet, nicht den beabsichtigten Nutzen. Indess ist es gut, dass jeder thut, was er vermag, und dass Practiker und Theoretiker einander zu Hülfe gehen, da selten mehr ein Einzelner beiden Anforderungen zu genügen im Stande ist. Untersuchungen, wie die voranstehenden, scheinen mir mit den von Petzval angekündigten über die perspectivisch richtige Lage der Bilder parallel gehen zu müssen, wenn jene gleich weniger schwierig und minutiös sind, und ihre Resultate dürfen der möglichsten Verbreitung nicht vorenthalten werden. Findet sie auch Mancher nicht grossartig, so helfen sie doch das Fundament der Wissenschaft befestigen und ein andermal mag man sich immerhin an auffallenden Entdeckungen desto mehr freuen. Möge nur von beiden Arten recht

Digitized by Google

viel, was zu einem unfassendern Werke dienlich seyn möchte, zu Tage kommen. Ungeachtet der sublimen Arbeiten eines Cauchy und anderer ist dennoch die Theorie noch nicht auf ihrem letzten Höhenpunkte angelangt, Erfahrung und Studium werden uns diesem immer näher bringen, sie werden die Theorie auch im Einzelnen immer noch sicherer stellen. Wohl jenen, welchen vergönnt ist, dazu beizutragen. —

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google